

港灣報導季刊

第 95 期

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 6 月

港 灣 報 導 第 95 期

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw

電 話：(04)26587176

總 編 輯：林志明

編輯委員：邱永芳、朱金元、林昭坤、謝明志、何良勝、簡仲璟
蘇青和、單誠基、馬維倫

出版年月：每年 2、6、10 月

創刊年月：中華民國 77 年 2 月 1 日

定 價：100 元

本次出刊：130 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

印 刷 者：悅翔數位印刷有限公司

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：2007700020 ISSN：1019-2603

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

目 錄

一、布袋港域潮汐流場之建置及模擬……………1

李兆芳 國立成功大學水利及海洋工程學系教授
劉正琪 國立成功大學水工試驗所研究員
涂力夫 國立成功大學水利及海洋工程學系博士後研究員
陳明宗 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

二、港灣地區防救災系統之研究……………6

陳谷君 成大防災研究中心工程師
曾文傑 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
黃敏郎 聚禾工程顧問有限公司應用地質技師

三、臺中港之海嘯災害風險評估……………12

陳冠宇 國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所副教授
劉俊志 國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所研究助理
張義偉 國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所研究助理
單誠基 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

四、臺中港區北淤沙區第二、三期工程成效探討…20

溫志中 弘光科技大學環境與安全衛生工程系副教授
蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
徐稚昀 弘光科技大學環境工程研究所研究生
卓孟賢 弘光科技大學環境工程研究所研究生
賴依琳 弘光科技大學環境工程研究所研究生

五、花蓮港共振源譜之探討……………29

林立青 中央研究院地球科學所博士後研究員

布袋港域潮汐流場之建置及模擬

李兆芳 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

劉正琪 國立成功大學水工試驗所研究員

涂力夫 國立成功大學水利及海洋工程學系博士後研究員

陳明宗 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

摘要

本研究為模擬 2012 年布袋港附近海域潮汐流場之變化。數值模式使用水深積分配合有限元素法進行流場的模擬，有限元素格網依布袋港區 2011 年的配置進行建置，水動力模式模式所需的邊界條件則利用箔仔寮漁港及將軍漁港觀測潮位調和分析結果計算南、北開放邊界每小時水位變化資料做為模式之邊界條件。模擬結果與觀測資料比較可得合理結果。流場模擬結果顯示在高平潮時段，港口外側有微弱的東南向流場，部分流入港區內；退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；低平潮時段流向轉為向北，但整個港區附近流速不大；漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內。

一、前言

布袋國內商港位於嘉義縣布袋鎮以西濱海地區，面臨台灣海峽，北及西北方有統仙洲、箔仔寮洲、外傘頂洲所構成之狹長砂洲，形成天然屏障，港口經緯度為北緯二十三度二十二分，東經一百二十度七分；北距台中港約 50 海浬，南距安平港約 30 海浬，西距澎湖馬公港約 40 海浬。雲嘉地區在經建計畫中列為工業南移重鎮，發展遠景無限。布袋商港位置適中，可作為雲嘉工業

化之重要進出港口。配合環島貨物海上運輸發展，開發成為環島航線主要港口。同時結合嘉義縣地區周邊景點及資源，創造觀光休憩功能。預計未來興建防波堤長度約 4255 公尺，增建碼頭 7 座，濬深航道-8.2 公尺，加強國內商港功能，並朝向做為高雄港輔助港，及國際商港目標邁進，可見布袋港的重要性日益提升。港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)於「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化研究」(2007 年~2010 年)計畫中，建立了七個主要商港—基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港、蘇澳港，及其附近海域水位及流場模式，並於 2010 年計畫將七大商港港口水位及流場模擬成果提供港研中心進行模擬作業。2011 年於「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究」計畫則延續前期計畫持續對七大商港港域水位和流場模擬、預測和評估進行改善，在作法上則針對個別商港港域進行即時觀測的潮流資料分析，並與模式預測結果比較，藉以檢討和修正所建立模式的計算範圍、邊界條件以及模式所使用各種參數值。其第二年(2012 年)計畫中首度將布袋港域水位及流場模擬研究納入工作項目。

本文之水動力模式採用有限元素法水深積分模式，利用線性三角形元素，計算領域中元素節點上之函數值。模

式南、北開放邊界則利用箔仔寮漁港及將軍漁港調和分析結果計算節點上每小時水位變化做為邊界條件。

模式計算上將先比較模擬結果與觀測分析結果以驗證模式的正確性，再利用布袋港目前配置的模擬結果，探討布袋港港口附近潮汐流場的變化。

二、布袋港水動力模式之建立

2.1 布袋港域模擬範圍

針對布袋港港域及其鄰近海域，本研究蒐集到布袋港北邊外傘頂洲附近海域 2003 年及 2011 年地形水深資料、2005 年急水溪至外傘頂洲南邊外海水深資料，以及 2010 年將軍漁港至急水溪外海水深資料，上述資料由成功大學水工試驗所監測；另外，本計畫亦蒐集 2011 年 11 月布袋港港區全域水深測量資料，此為高雄港務分公司所提供之資料。以上資料經數位化整理後如圖 1 所示。

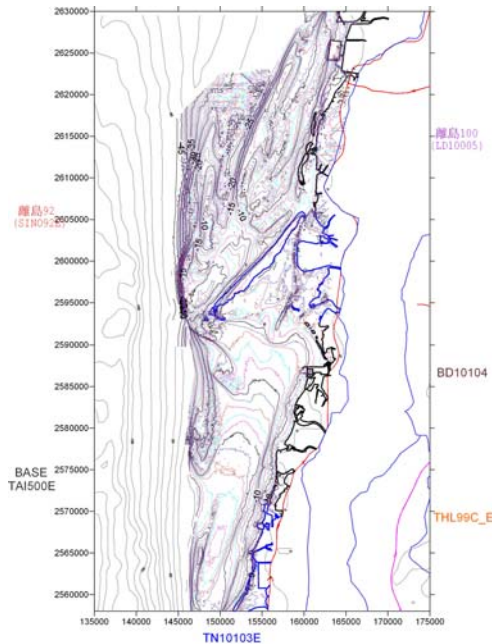


圖 1 布袋港附近海域水深分佈圖

依據布袋港區 1997 年配置情形，加上布袋港區及其鄰近海域之地形水

深資料選取適當之模式模擬範圍，如圖 2 所示；模擬範圍北起雲林縣箔仔寮漁港，向西延伸約 25.5 公里，南至台南市將軍漁港，向西延伸約 17.6 公里，南北邊界相距約 44.7 公里。

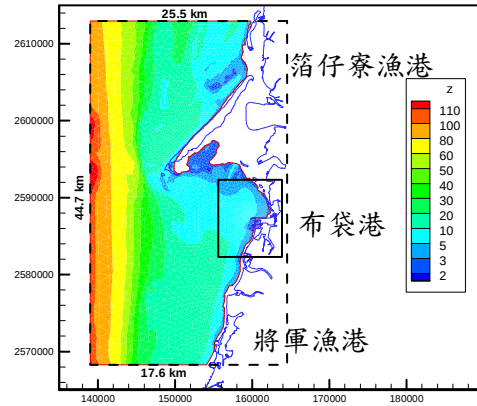


圖 2 布袋港模擬範圍及地形水深圖

2.2 數值網格及邊界條件之建立

本研究依據前述選取之模擬範圍建置流場數值模擬所需之模式三角形網格如圖 3 所示，其中數值網格則由 3457 個節點及 6519 個三角元素所構成，布袋港配置及港口附近網格分布則如圖 4 所示。目前方法所建置的細網格(模式 dt 約在 2 秒)據測試結果已具足夠代表性，可計算得到穩定結果。關於布袋港水動力數值模式之模式邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件本計畫亦採用滑動邊界為陸地邊界條件(即邊界節點垂直方向流速為零)。海域開放邊界通常採用水位(潮位)條件為模式之邊界條件，在模式模擬範圍的邊界上於箔仔寮漁港及將軍漁港港區內皆有潮位資料，因此本研究採用上述兩漁港潮位觀測資料調和分析結果預測建置模式之開放邊界條件，如圖 5 所示，為模式模擬範圍的南北開放邊界之水位邊界條件，在模式計算中南北開放邊界上的每個節點

水位值皆以此邊界條件代入，平行海岸之外海開放邊界上的每個節點水位值則以南北邊界的水位值取線性內插計算而得。由圖 5 顯示北部邊界的水位變化較南部邊界大，而水位振幅之差異可引致水流變化，但兩者相位則相當接近。

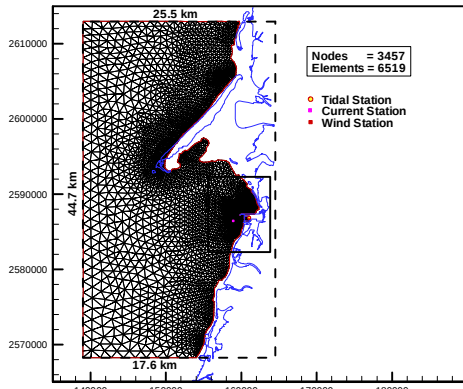


圖 3 布袋港水動力模式之有限元素細格網分佈圖

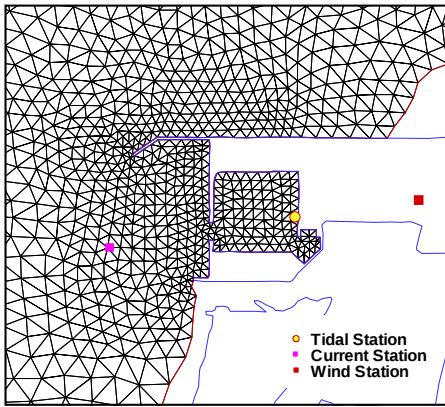


圖 4 布袋港港口附近三角形元素分布圖

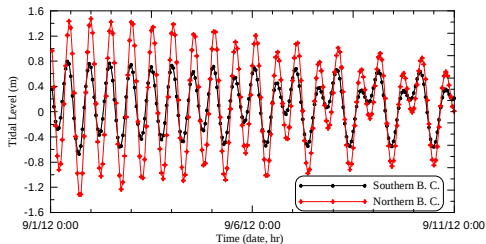


圖 5 布袋港水動力模式左、右開放邊界之水位

三、結果與討論

為驗證模式模擬結果與率定模式相關參數，本研究選取布袋港港口附近

觀測樁海流觀測資料及港內潮位觀測資料與模式模擬結果進行比較，其中海流及潮汐觀測樁位置如圖 4 所示。由於本研究水動力模式模擬之流場主要為天文潮流，海流觀測資料除了天文潮流成份外，尚有其他成份流及觀測誤差存在。本研究先針對布袋港海流觀測資料分析選取 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等五個主要分潮，另以調和分析方法得到觀測資料之天文潮流，再與水動力模式流場模擬結果比較。圖 6 與圖 7 分別為模式計算布袋港 2012 年 9 月水位與潮流之結果與觀測點天文潮流調和分析結果之比較，其中水位部分並未做調和分析，在排除部分品質不佳之資料後直接採用觀測資料與模式模擬結果比較。

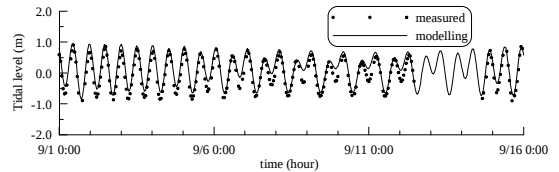


圖 6 布袋港水位模擬結果與觀測資料之比較

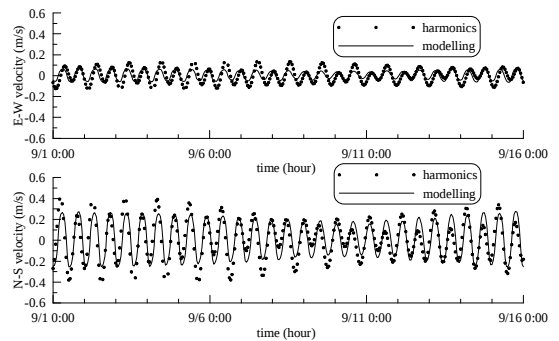


圖 7 布袋港潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2)結果之比較

由驗證結果顯示，水位觀測資料排除部分品質不佳之資料後與模式水位模擬結果相當吻合；潮流東西向分量與南北向分量比對結果顯示水動力模式模擬計算之東西向及南北向流速振幅皆小於調和分析結果，但其相位仍趨一致。

針對布袋港港口附近海域流場模

擬，本研究取大潮時期(2012 年 9 月 1 日，農曆 8 月 16 日)之計算結果如圖 8 至圖 11。由圖顯示高平潮時段，港口外側有微弱的東南向流場，部分流入港區內；退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；低平潮時段流向轉為向北，但整個港區附近流速不大；漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內，直至高平潮時段流向再轉為微弱的南向流。

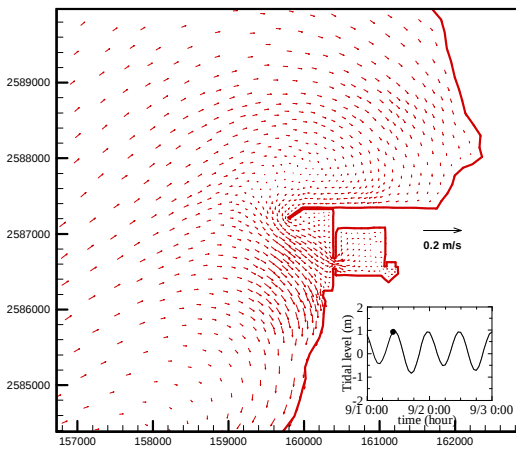


圖 8 高平潮時段布袋港港口附近流況向量分佈圖

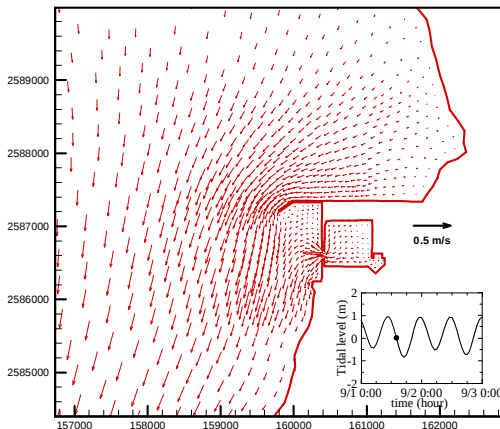


圖 9 退潮時段布袋港港口附近流況向量分佈圖

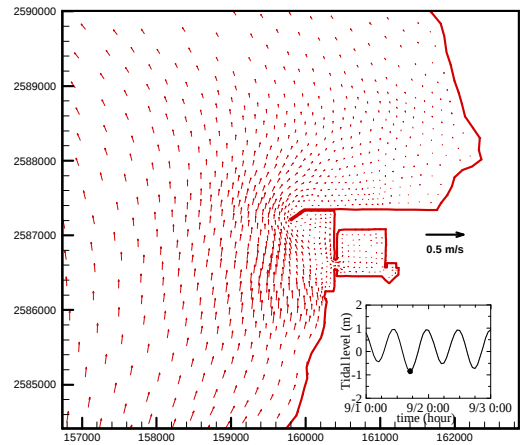


圖 10 低平潮時段布袋港港口附近流況向量分佈圖

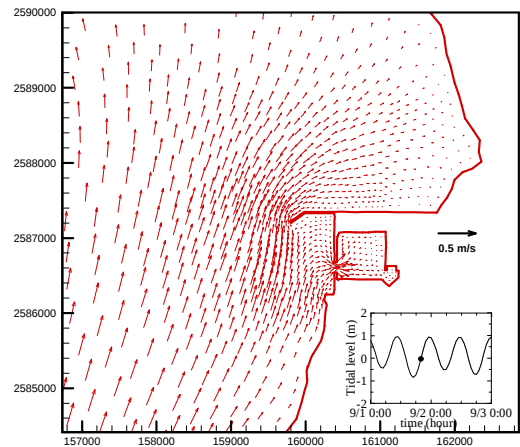


圖 11 漲潮時段布袋港港口附近流況向量分佈圖

四、結論

本研究之布袋港水動力模式為新建置，主要為模擬布袋港海域潮汐流場之變化。數值模式為使用水深積分配合有限元素法建立，模式利用箔仔寮漁港及將軍漁港觀測潮位調和分析結果計算南、北開放邊界每小時水位變化資料做為模式之邊界條件。模式計算結果與 2012 年潮位觀測資料與海流觀測資料調和分析結果做驗證，模擬結果與觀測資料可得合理之比較。流場模擬結果顯示在高平潮時段，港口外側有微弱的東

南向流場，部分流入港區內；退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；低平潮時段流向轉為向北，但整個港區附近流速不大；漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內。

developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan,” J. Oceanogr., Vol. 56, pp. 567-581.

參考文獻

1. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、張憲國、于嘉順、王兆璋 (2006) 近岸數值模擬系統之建立 (III)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
2. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、于嘉順、王兆璋 (2008) 近岸海象數值模擬及預警系統之建立 (2/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
3. 李兆芳、劉正琪、高政宏、謝依潔、曾俊傑、丁嘉鴻、陳宜芝、王顥豪、王聖瀚、鄭宇君 (2009) 近岸海象數值模擬及預警系統之建立 (3/4) — 水動力部份，交通部運輸研究所研究報告。
4. 李兆芳、劉正琪、高政宏、陳宜芝、鄭宇君、謝佳穎 (2010) 近岸海象數值模擬及預警系統之建立 (4/4) — 水動力部份，交通部運輸研究所研究報告。
5. 邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏、鄭宇君、陳宜芝 (2012) 提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究 (1/4)，交通部運輸研究所研究報告。
6. Connor, J.J., and Wang, J.D. (1975) Mathematical Modelling of Near Coastal Circulation, Pentech Press.
7. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M., (2000) “Ocean tide models

港灣地區防救災系統之研究

陳谷君 成大防災研究中心工程師

曾文傑 交通部運輸研究所臺灣技術研究中心副研究員

黃敏郎 聚禾工程顧問有限公司應用地質技師

摘要

港埠(Port)為水陸運輸的門戶基地及國際貿易樞紐,並為商船暫居處所與客貨集散之地,實足以影響一國政治與經濟之興衰。一優良的商港規模,不僅需滿足港埠內之船隻噸位逐漸擴大外,對於港埠內外之災害防救設施是否足以滿足,當災害發生時搶救之相關機制可以即時啟動,達到災害抑制、災損降低之目的,此乃更為重要之課題。就災害管理的角度分析港埠使用者所面臨的災害潛勢而言,可分為災害空間(地)、災害類型(型)與災害時間(時)等三個方向,其災害空間既是港埠中所有災害發生之有形環境(包括水域設施、隔浪設施、繫船設施、港勤船舶及船舶修復設備與裝卸設備…等),災害類型既包括港埠使用者所可能面臨的災害(海嘯襲堤、爆炸起火、護岸崩塌結構物倒塌毀損等),其中災害時間既為針對地與型就災前、災時以及災後三個階段重點防制之分界點。

本研究完成整合基隆港、臺北港、蘇澳港、臺中港、高雄港、安平港、花蓮港等港埠系統與檢討防救災體系。透過防救災資源資料庫更新、各港 CCTV 的整合、各類災害防救災標準作業程序檢討、資料庫系統整合等工作,建置並更新各港區之防救災體系,系統採多方位災情通報可結合多媒體簡訊、文字轉語音通報、3G 手機上網通報與網路傳

真等方式,縮短通報時間同時增加各單位災情處置時效。

一、前言

民國 98 年莫拉克颱風,最大累積降雨量超過 3000 公厘,造成臺灣南部災情慘重。當時災區對外聯繫與通訊中斷,災民無法利用市內電話與手機通話方式對外聯繫,但部分災民仍可透過手機的微弱訊號將災情對外傳遞,使後續對於救災對象與物資需求得以精確掌握,快速進行災害搶救作業。

災害發生後,災情通報之精度與頻率為掌握災情現況與救災成效之關鍵因素。但災害發生時,利用現有市內電話與手機通報方式,無法精準的描述災害位置、狀況、影響範圍等救災重要資訊,因此造成救災資源調度失常與無法精準救災的缺憾,尤其在劇烈天候環境下,對於災情傳遞更為一嚴峻挑戰。

就目前國內各港區之災害防救作業,皆依據交通部相關規定進行,在災情通報部分大多採用室內電話、手機通話與簡訊、無線電等方式進行災情之口述與文字描述,如此對於災害發生之位置、規模、與現況無法精準的描述與傳遞,如此可能會降低救災效率,因此本研究以國內基隆港、臺北港、蘇澳港、臺中港、高雄港、安平港、花蓮港等港灣地區之災情通報流程為研究對象,建構多元化災情通報系統,提供港務分公司防災業務單位即時掌握災害之時、空

特性，做為救災決策參考，進而提升救災之精度，以達降低災害之目的。

二、架構與功能

2.1 系統架構

系統架構(如圖 1)採用常見的三層式架構(3-Tier Architecture)。第一層為使用者端，負責接收使用者的資料輸入，將結果顯示出來，可透過手持式裝置或電腦的瀏覽器進入本系統。第二層為系統端，負責資料處理、網站伺服器(Web Service)等工作，整合 MapGuide Open Source 地理資訊系統及 Google Static Maps，提供使用者查詢資料庫之空間資訊。第三層為資料庫端，負責資料庫或訊息的處理，資料庫內容包括防救災資源、標準作業流程、災害潛勢、基本圖等。

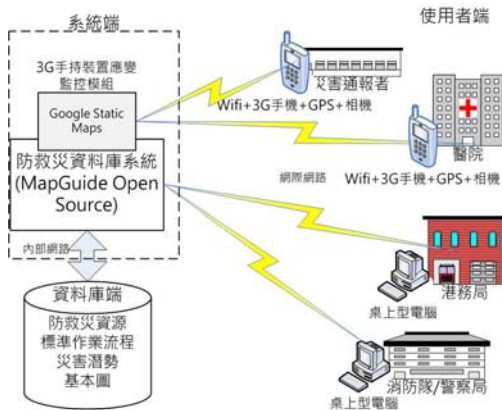


圖 1 港區防救災資訊系統架構圖

系統端是輔助決策支援系統的核心，提供使用者查詢資料庫之空間資訊，整合多方位災情傳遞模組及防救災資源模組，共同完成功能後建構港區防救災資訊系統如圖 2。

本系統功能規劃共有二個部份(如圖 3)，分別為「災中應變流程」和「輔助功能」。災中應變流程為執行災害應變之功能流程，依據功能之重要性進

行配置，包括「新增災害」、「災情通報」與「災情更新」。輔助功能為應變作業中可供資料查詢參考之功能，包括「防救災資源查詢」、「紀錄查詢」與「地圖顯示」。



圖 2 花蓮港防救災資訊系統首頁畫面

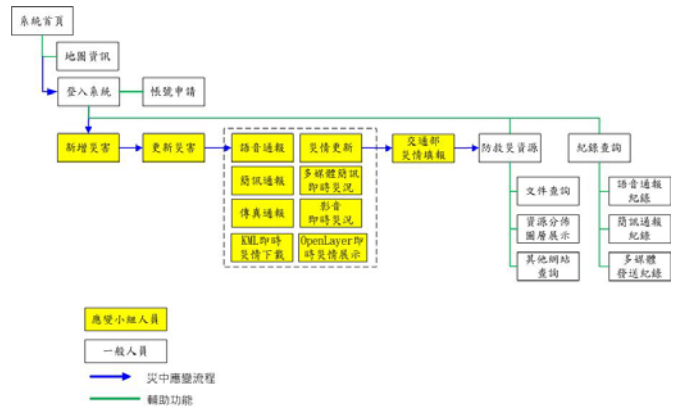


圖 3 港區防救災資訊系統功能架構圖

2.2 多方位災情通報

災害發生時，透過本系統所開發的多方位災情通報模組，使用語音、簡訊或網路傳真的通訊方式進行通報作業，收訊端可為行動電話或一般電話。災中可使用具照相功能之手機，以多媒體簡訊的方式傳送即時災害現場影像資料，防救災人員瀏覽網頁以取得最新災害狀況，降低後勤人員、決策人員對現場災害處理情況瞭解的誤差，提供多方

位的災情通報流程(如圖 4)。

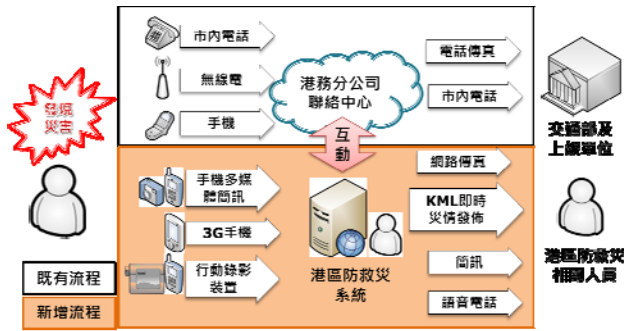


圖 4 多方位災情通報流程圖

設定防救災人員的聯絡方式及群組後，最近災情狀況將會自動帶入訊息內容，可透過簡訊或電話語音的方式發送資訊。簡訊通報有 70 字的內容限制，以文字的方式傳送資訊制使用者的手機；語音通報則無文字數量之限制，將災害資訊文字轉成語音電話(如圖 5)，可傳送至室內電話或手機。



圖 5 語音通報系統畫面

多媒體簡訊通報功能可接收由手機傳送的多媒體簡訊，提供圖文描述之災情通報資訊（圖 6）。考量災害發生第一時間，現場人員傳遞災情的管道有限，除傳統電話、無線電等通報方式，個人手機為每人隨身常有之裝置，大部分市售手機均有提供攝像與多媒體簡訊發送功能。因此，本系統設計透過手機發送多媒體簡訊，傳送災害現場即時影像至系統，於災害發生時透過影像初步了解災情狀況，並將記錄災情之多媒體災情簡訊轉發送至指定的聯絡人群組。



圖 6 多媒體簡訊通報系統畫面

2.3 影音即時災況

提供災害現場的動態影像資訊(如圖 7)，透過災情影音欄位與災害事件進行連結，使用智慧型手機或手持式行動裝置即可錄製災害現場影片，上傳影片至本系統後將與事件進行連結。



圖 7 影音即時災況功能表



圖 8 港區防救災資訊系統畫面

2.4 即時災情整合資訊

系統在建置與開發的過程中，加入愈來愈多災情資訊，也依各港區的屬性不同進行調整，身為輔助港區的防救災資料庫系統，必須有效的增加災情通報與災情資訊之連結，今年度將災害與歷

災害以樹狀結構分類，包括災害歷程分為災害發生、災害階段與災害結束等，點選各項災害會開啟說明視窗(如圖 11)，提供災害類別、災害描述、發生時間與影像等資訊。KML 主動與系統進行災情同步與更新，使用者於第一次使用時下載檔案，後續僅需在具有網際網路的環境下，即可得知目前港區災情狀況。



圖 11 KML 災情資訊視窗畫面

三、花蓮港防救災能力評估

The screenshot shows the Google Earth interface. The main map displays an aerial view of Hong Kong's airport area. A red line connects two points labeled '香港國際機場' (Hong Kong International Airport) and '香港新機場' (Hong Kong New Airport). The left sidebar shows the '我的位置' (My Location) panel with a list of locations including '香港國際機場' and '香港新機場'. The top toolbar shows various navigation and search tools.

港區防救災能力評估指數模型乃參考既往文獻建構出階層圖，再透過修正式德爾菲法第一階段調查，來確認階層圖內之評估準則，並分成兩個階層為評估項目和影響因子；其次採用修正式德爾菲法之第二階段調查進行評估準則間之對偶比較（pair-wise comparison），以 expert choice 軟體

求得各評估準則之權重（即重要度）。最後，依據訂定各影響因子之評分標準。

本研究根據國內外文獻，歸納出相關評估因子，於去年度問卷調查確立港區防救災能力評估指數階層圖架構如圖 12 所示。區分為 3 階層：階層一為目標層：港區防救災能力評估指數模型；階層二為評估項目層：包括有人員編組、裝備設施、訓練支援及監控應變等 4 個評估項目；階層三為影響因子層：包括有消防人員編配比、消防人員素質、消防人力補充、緊急醫療救護、防救災組織整體應變運作、防救災裝備、防救災設施、災情通報系統、防救災訓練與演習、救災案例分析探討、防救災能力考評、與港區外防救災單位之支援簽定與協調、支援器材項目及數量、災害緊急應變中心運作、港區連外道路狀況、港區安全敏感設施維護、信號台對港區安全敏感地區監控等 17 個影響因子。

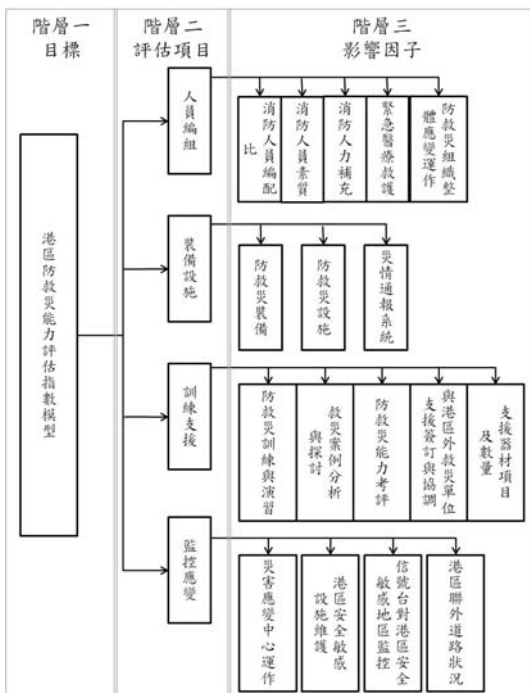


圖 12 港區防救災能力評估指數階層圖

在修正式德爾菲法第二階段問卷，專家與學者以 5 等級評估尺度（「很重要」至「同等重要」）進行 5 個評估項目間以及各評估項目內影響因子間的對偶比較，階層圖架構如圖 12，再以幾何平均求得各評估項目與影響因子之平均對偶比較值，並透過 expert choice 計算各評估項目與影響因子之權重（重要程度）。因受訪者分為專家和學者，故評估項目與影響因子的權重計算分成 3 種：全部、專家、學者，如表 1 和表 2，評估項目之權重分布如圖 13。

表 1 評估項目之權重

階層二： 評估項目	全部	專家	學者
組織運作	0.283	0.280	0.269
裝備設施	0.227	0.245	0.234
訓練支援	0.258	0.250	0.262
監控應變	0.232	0.225	0.235
合 計	1.000	1.000	1.000

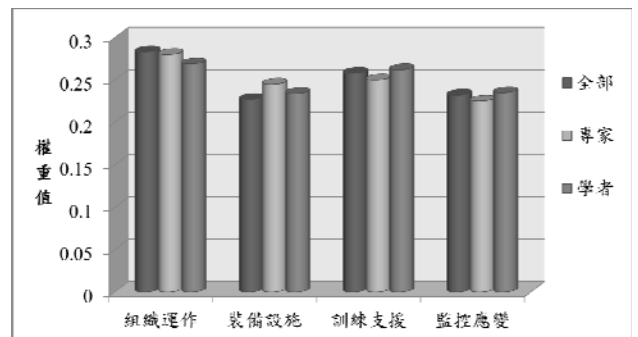


圖 13 評估項目之權重分布圖

在表 1，專家與學者對各評估項目有不同看法。專家對「監控應變」評估項目較不偏好給予最低權重值、而學者較不認同並給予相對較高之權重值。而「裝備設施」部分則情形相反，學者對「裝備設施」評估項目較為偏好給予最低權重值、專家則較不認同並給予相對

較高之權重值。但對「組織運作」評估項目，專家與學者較為偏好給予最高權重值，其次為「訓練支援」評估項在表 2 中，全部、專家及學者對「組織運作」、「裝備設施」等評估項目，影響因子權重最低部分，均持相同看法，分別為緊急醫療救護、防救災設施等二因子；但權重最高部分，則看法分歧。

在「訓練支援」與「監控應變」等兩評估項目，影響因子權重最高部分，亦持相同看法，分別為防救災訓練與演習及災害應變中心運作等兩因子；但權重最低部分，專家與全部之看法接近。

表 2 影響因子權重分析統計表

階層二： 評估項目	階層三：影響因子	全部	專家	學者
組織運作	消防人員編配比	0.201	0.218	0.134
	消防人員素質	0.207	0.200	0.284
	消防人力補充	0.190	0.197	0.230
	緊急醫療救護	0.176	0.170	0.083
	防救災組織整體應變運作	0.227	0.215	0.270
裝備設施	防救災裝備	0.336	0.339	0.286
	防救災設施	0.318	0.327	0.284
	災情通報系統	0.347	0.334	0.430
訓練支援	防救災訓練與演習	0.244	0.233	0.326
	救災案例分析與探討	0.181	0.181	0.219
	防救災能力考評	0.167	0.180	0.162
	與港區外救災單位支援簽	0.182	0.175	0.151
	支援器材項目與數量	0.227	0.230	0.147
監控應變	災害應變中心運作	0.316	0.316	0.432
	港區安全敏感設施維護	0.213	0.219	0.230
	信號台對港區安全敏感地	0.197	0.200	0.213
	港區連外道路狀況	0.274	0.264	0.125
合計		1	1	1

四、結論

本研究，主要係在防救災理論基礎下，參酌相關國內外文獻與法令規定等，研擬各類災害防救策略與流程，並透過資料收集、現況調查及相關研究方法等，分析港區災害潛勢與進行災害境況模擬；相關結果均運用地理資訊系統(GIS)技術，建立港區災害防救資料庫及災害防救資訊管理系統，已獲致相當

豐厚之成果。

近年來開放式標準已漸漸成為地理資訊系統所遵循的規範，而國外地理資訊系統標準制定之重要組織 OGC 正致力於這些標準之制定。目前系統除設計除考量使用者需求與災害防救作業流程之數位化外，另針對網頁地圖服務(Web Map Service)或其他相關服務等標準作業進行分析研究。預計於未來系統建置將納入 OGC 所制定之各類標準，以延續本計畫系統效益，並與國際標準接軌。

臺中港之海嘯災害風險評估

陳冠宇	國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所	副教授
劉俊志	國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所	研究助理
張義偉	國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所	研究助理
單誠基	交通部運輸研究所臺灣技術研究中心	研究員

一、前言

臺灣時間 2011 年 3 月 11 日下午 1 點 46 分於日本發生芮氏規模 9.0 之大地震，日本氣象廳針對此地震相關資料進行詳細分析後，發現此次地震的震央區域長達 500 公里，寬度約有 200 公里，地震斷層的破壞持續 5 分鐘以上。此地震造成數公尺高的巨浪，至少 20 國政府和許多太平洋島嶼都發布海嘯警報。受海嘯威脅的國家和地區擴及俄羅斯、印尼、中南美洲國家如瓜地馬拉、薩爾瓦多和哥斯大黎加，以及美國領土夏威夷。

海嘯發生的主要原因為海底地震，雖然目前為止地震無法準確預測，地震發生後可能造成的災害評估技術也趨於成熟，在地震引發海嘯方面可包括(一)可能發生災害的地區(二)破壞發生的機率(三)破壞的程度等，對於提升救災效率、降低生命財產損失，有明顯的幫助，也是在目前最可預期的成效。

二、海嘯預報系統驗證

此次研究目的是利用 EEMD 法濾除臺北港之潮汐水位美國國家地震資訊中心(USGS-NEIC)公布之地震參數(如表 1)對東日本海嘯地震估算的 FMT 解(Fast Moment Tensor solution)代入臺灣主要商港海嘯預報系統(簡稱本系統)，藉以計算臺北港附近海嘯的預報

水位。模式預測結果與實測水位之比較則如圖 1 所示。模擬結果臺北港部分波高大約一致，到達時間約提前十幾分鐘。其結果在運算速度與預報功能上都相當符合實際需求。

表 1 美國國家地震中心發布東日本 FMT 地震參數

```
Epicenter: 38.308 142.383
MW 9.0

USGS CENTROID MOMENT TENSOR
11/03/11 05:47:47.20
Centroid: 38.486 142.597
Depth 10 No. of sta: 151
Moment Tensor: Scale 10**22 Nm
Mrr= 2.03 Mtt=-0.16
Mpp=-1.87 Mrt= 2.06
Mrp= 3.49 Mtp=-0.60
Principal axes:
T Val= 4.57 Plg=58 Azm=306
N -0.05 5 208
P -4.52 32 115

Best Double Couple: Mo=4.5*10**22
NP1:Strike= 29 Dip=77 Slip= 95
NP2: 187 14 68
```

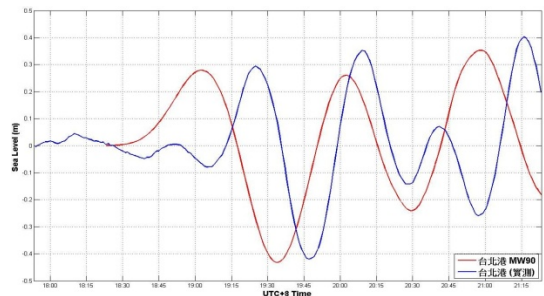


圖 1 臺北港系統模擬水位(紅線)與濾潮後的實測水位(藍線)比較

三、研究方法

本研究採用 Chen et al. (2011)所

建議之評估流程：「引發海嘯之地震期望數 Tsunamigenic Earthquake expectation Number, TEN」，其方法由歷史地震紀錄推算未來可能發生的地震次數，配合海嘯的發生條件：海源（震央位置位於海洋），且震源深度小於 30 公里之條件；以此條件推算未來可能發生海嘯的次數期望值。接著提出「海嘯溢淹機率 Tsunami Inundation Probability, TIP」，其方法使用二維海嘯模式計算若發生不同規模海嘯地震時，對於臺灣東南沿岸各鄉鎮所產生的最大波高，以及此波高以模式模擬對於陸地所產生的溢淹狀況，取溢淹高度 50 公分且離岸 50 公尺為溢淹點，再與模式模擬數值地形岸線點位長度作比值，定義為溢淹機率。綜合海嘯發生次數期望值，與發生海嘯地震所產生的溢淹機率，可得到研究區域發生不同規模海嘯地震且溢淹的機率，將不同區域、不同規模得到的機率加總，則可得到評估區域內發生海嘯且溢淹的機率值。以作為發生海嘯地震且溢淹的災害評估。整體之機率評估方式可寫為如(1)、(2)式所示：

$$\sum_i \sum_j TEN_j^i IP_j^i = \sum_i \sum_j EN_j^i P_{ocsh}^i IP_j^i \quad (1)$$

$$TEN_j^i = EN_j^i P_{ocsh}^i \quad (2)$$

式中， EN_j^i 代表子震源區 i 發生 j 地震級距主要地震次數的期望值， P_{ocsh}^i 則是指海中發生震源深度小於 30 公里海底地震的機率。上標 i 代表子震源區之數目；下標 j 代表地震級距。圖 2 為此一概念之計算流程圖。

3.1 海嘯地震發生次數期望值

研究區域主要為環太平洋地震帶，全球有 80% 的地震發生在此，而歷史

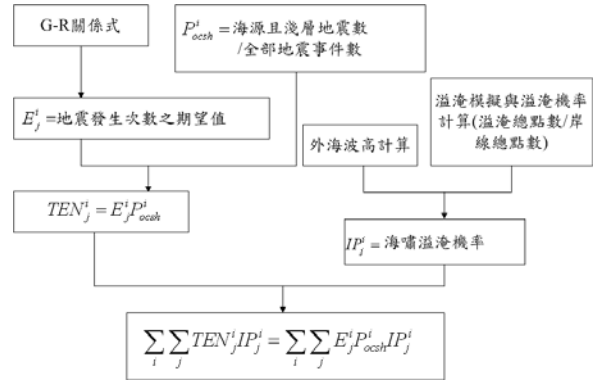


圖 2 海嘯風險評估流程圖

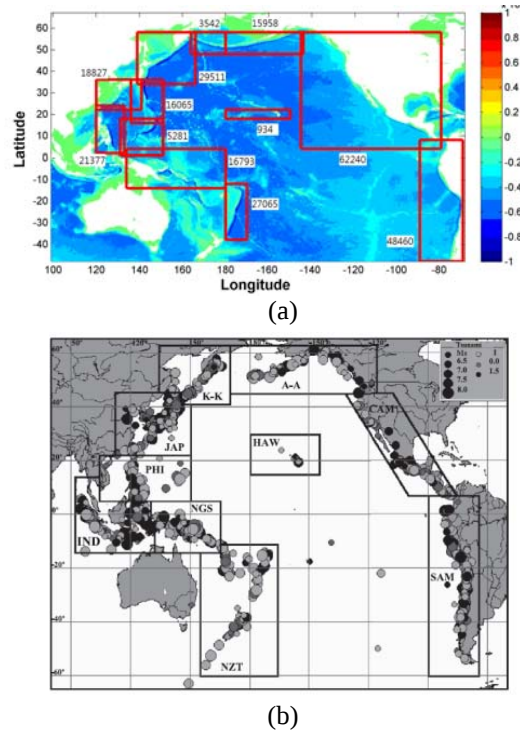


圖 3 (a)環太平洋地震數量分布圖

(b)太平洋區域之主要海溝分布及劃分建議(Gusiakov,2005)

海嘯記錄則有 85%發生在環太平洋地震帶的島弧-海溝地帶。環太平洋地震帶幅員廣闊，主要地震發生地大抵分為中央地區之南北太平洋及各板塊之海溝、島弧；自 USGS-NEIC 資料庫中所擷取之地震資料(含陸源及海源地震)總數約為十餘萬筆，分佈概況如圖 3(a)所示，可發現位於太平洋中央海底盆地之數量較少；東西兩岸之海溝還是主要

地震發生地。由於各板塊及海溝地質條件各異，為便利海嘯模擬及溢淹機率計算，將各海溝做適當之分塊，Gusiakov(2005)建議以各主要海溝做為分類之依據，如圖 3(b)所示。本研究之分類則如圖 4(a)所示。本研究進一步以緯度 2 度為一單位，將各主要海溝做細部分區；由於海溝一般甚長(例如馬尼拉海溝)，在選取可能震源及計算機率時，若將一海溝視為一整體，會減少可能之震源數。因此本研究依主要海溝分為數個大區域總共 126 個區域點位，圖 4(b)。

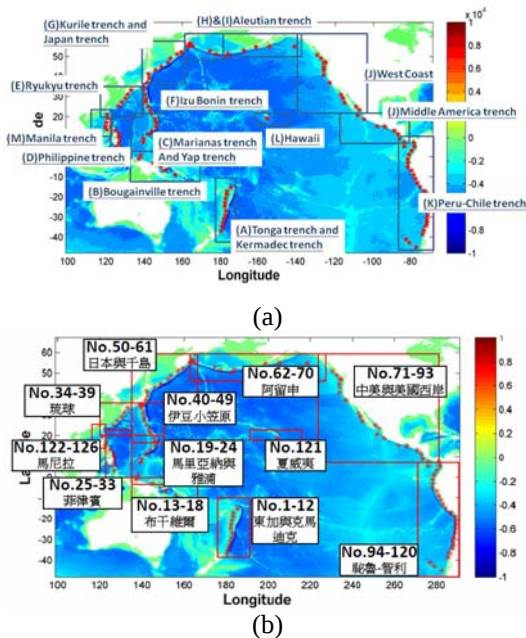


圖 4 (a)本研究主要海溝分布圖及名稱
(b)本研究之假設震央點位分布

風險評估首先須由蒐集地震之資料開始，計算地震發生之期望數；本研究依主要海溝分為數個大區域總共 126 個區域點位，由美國地質調查所 (U. S. Geological Survey, USGS) NEIC 資料庫，取得歷史地震資料，並依區域範圍與歷史年份等條件挑選地震資料。美國地質調查所 USGS 監測全球地震

活動並發布地震消息，對於規模大於 3.5 的地震幾乎都已經使用地震矩規模來描述地震大小。因此在本研究主要以地震矩規模為挑選條件，以此條件取得記錄較完整之歷史地震資料(地震矩規模 M_w 記錄、震源深度記錄、震央位置記錄等)。考慮較大規模海嘯在臺灣週遭斷層可能會出現不合理狀況，因此在規模 8.5 以上地震參數有重新考慮為 115 個區域點位，主要是在琉球海溝、菲律賓海溝與馬尼拉海溝考慮已知斷層狀況重新選取區預計算，以至於在規模 8.5、9 時點位較少。

當一般區域震源可用指數規模分佈模式來表示，而此模式中之地震規模與再現頻率關係式 (Gutenberg and Richter, 1944)，稱為 G-R 關係式，其形式為：

$$\log(N) = a - bM \quad (3)$$

G-R 關係式中， b 值是地震危害分析中一個極為重要的參數，其表示地震在某一地震規模內的大地震與小地震間的比例關係。 b 值隨著研究區域內的地質分佈、構造、地溫與應力…等條件的不同而有所變化。此一回歸分析法，即是在一區域內對於地震規模 $\geq M_b$ (設定之地震下限) 而言的，式中 M 代表地震矩規模，並依小而大之順序排列，式中之 N 表示規模大於或是等於 M 之次數，在本研究中地震矩規模 M 的區間為 4.25、4.75、5.25、5.75、6.25、6.75、7.25、7.75、8.25、8.75、9.25 取各區間內累計數即為 N ，而 a 、 b 則為線性迴歸係數。以日本東側東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度為例，圖 5 藍點為各地震矩累計次數，35 年為過去地震次數記錄的時間長度，將此回歸線上各點除以統計年時間長度 35 乘上評估年時間長度 50、100 再轉換回 G-R 關係式

，則可得到圖 5 上未來 50 年及未來 100 年的回歸係數與回歸線，紅點線(50 年)及綠點線(100 年)，此回歸線為評估未來 50 年及未來 100 年，可能發生之累計次數，進而可得到各地震矩規模區間的可能發生次數，如表 2 所示。

表 2 各地震規模區間未來預估可能發生之次數值

M_w	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	4.0552	1.1116	0.3047	0.0835	0.0228	0.0062
100 年	8.1099	2.2231	0.6094	0.1670	0.0457	0.0125

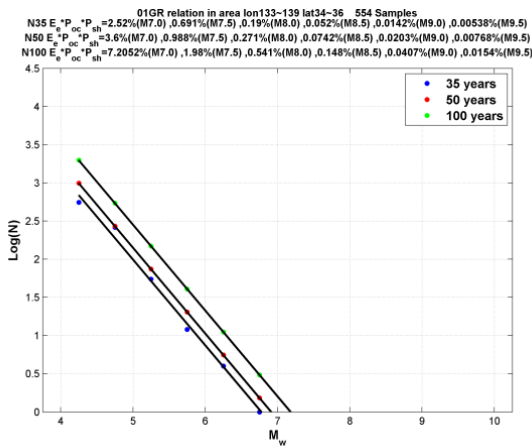


圖 5 G-R 關係式之計算範例(東經 113 到 139 度，北緯 34 到 36 度)

3.2 海嘯發生條件

由統計資料可以發現，海嘯之發生並不一定與強烈之海底地震有必然之關係；因此，海嘯的發生是一種條件機率(conditional probability)；在討論地震引發海嘯時，一般會引發海嘯的地震震源通常發生在較淺層的海底斷層；G-R 關係式求得地震發生次數期望值，再給與海嘯發生條件，即是表示震央位置位於海洋且震源深度小於 30 公里才有引發海嘯之可能，以此方法求得在特定回歸期內可能發生海嘯次數之期望值。圖 6 為挑選海源地震，海源地震的定義為震央位置記錄在海洋，圖 6 中藍色方框點位置。接著在海源地震中挑選震源深度小於 30 公里條件下地

震，圖 6 中紅色圈點位置。海源且極淺層數目除上統計總數，即可得海源且震源深度小於 30 公里比值。此區域地震資料總數為 702 筆，海源且震源深度在 30km 以內數為 83 筆，因此比值 $83/702=0.1182$ 。該值與表 2 各地震規模區間發生次數期望值相乘，即可得在未來 50 年及 100 年各地震矩規模區間發生由地震引發海嘯之可能發生次數，即是(2)式中的 TEN；如下表 3。

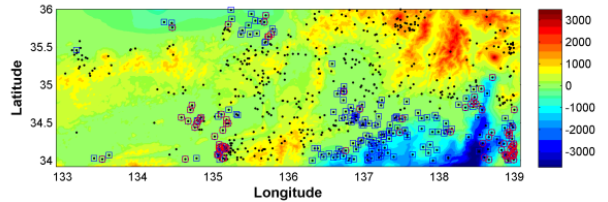


圖 6 計算範例(東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度)之淺層海源地震分佈

表 3 海嘯地震發生次數期望值

M_w	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	0.48	0.13	0.036	9.86×10^{-3}	9.86×10^{-3}	9.86×10^{-3}
100 年	0.96	0.26	0.073	0.0197	5.4×10^{-3}	1.48×10^{-3}

3.3 臺中港之模擬結果

海嘯溢淹模擬最佳之方式就是確切得知發生一已知之震源或是一組斷層參數，得知初始水位高度後據以模擬海嘯之溢淹行為及特性。但實務上，上述之方法有其困難度：

- (1)首先是震源位址，目前並無法準測預測地震之發生，故也就無法得知震央；其次，斷層參數之來源也極其有限，除了少數較為引人注目之斷層(例如馬尼拉海溝)有較為嚴密之地球科學探測資料外，其餘甚少具有較為詳盡之參數資料；故在有限之條件下以實際海嘯波形進行海嘯溢淹模擬有其實務上之困難。
- (2)另一方面，目前也無法確知各個可能震源點所能產生之最大地震矩規模及海嘯波之來向。

由以上兩點可知，在許多必要條件均缺乏之情況下進行海嘯於近岸地區之數值模擬是相當不便的，加以防災需求宜作較為保守之推估；因此，利用單一波形及情境模擬方式來進行溢淹模擬除了可獲得較為保守之結果外，更可匯集成一資料庫，在實際海嘯事件發生時，得知外海波高後，即可得知對應可能之海嘯資訊。

本研究使用 COMCOT 溢淹模式，以不同波高之鐘型波模擬海嘯波垂直岸線入射(0.5m~10m)；海嘯波為長週期之重力波，一般週期約為 15~30 分鐘，以臺中港為例，海嘯波模擬採用之週期為 20 分鐘，圖 7 為波高 4m 週期 20 分鐘之鐘型波波形，以此波形在模式地形邊界上入射，模擬此情境下陸地之溢淹狀況。計劃中所設定之海嘯潛勢波源區為整個環太平洋地震帶；另外要特別說明的是，本研究僅限於由海嘯造成溢淹模擬，利用 COMCOT 並無法適當模擬臺灣海峽中之震盪行為。

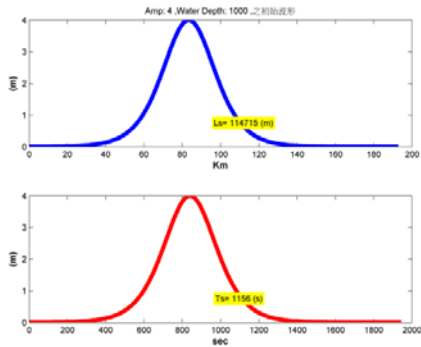


圖 7 週期 20 分鐘波高 4m 孤立波

圖 8 為臺中港區在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹區域及溢淹高程分佈；分析顯示，在入射波高 3 公尺以下，溢淹範圍侷限於港區南方，溢淹高程約為 1.5 公尺以下，對主要港區威脅性不大。4 公尺以上之波高時，主要港區會受到影響。

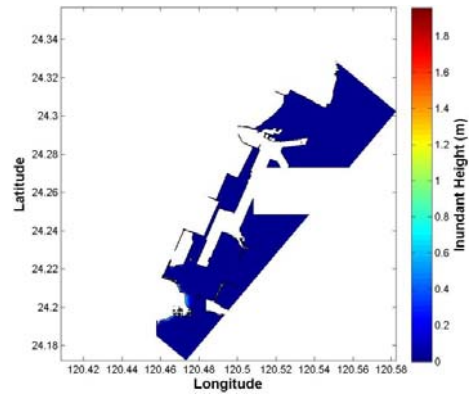


圖 8(a) 0.5 公尺

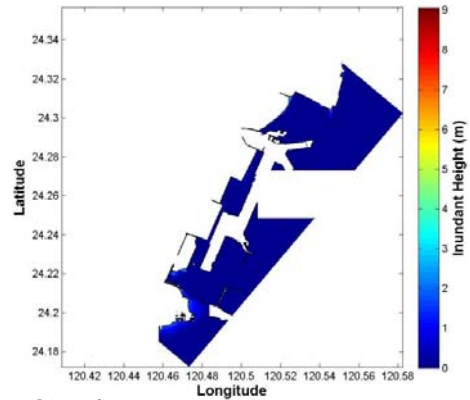


圖 8(b) 2 公尺

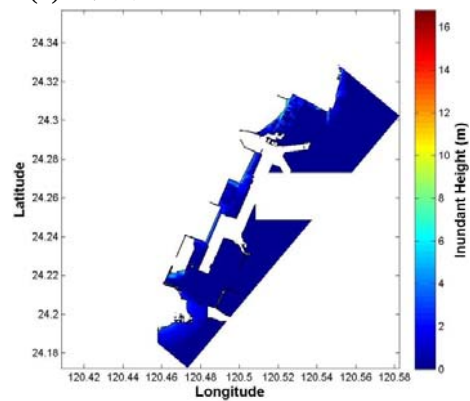


圖 8(c) 4 公尺

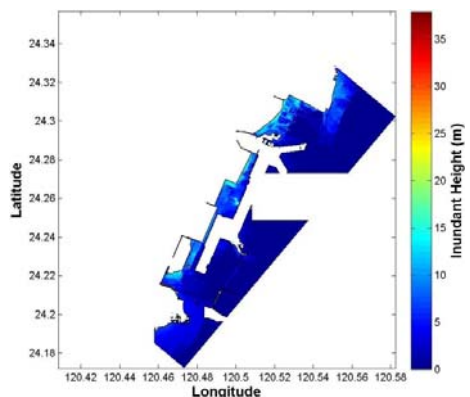


圖 8(d) 10 公尺

3.4 溢淹機率

本研究之海嘯溢淹機率(TIP)定義為當海嘯溢淹超過離岸 50 公尺，溢淹高度超過 50 公分時，即表示該處為發生溢淹。取 50 公尺是因為港區沿海地帶有較緩坡度之沿海沙灘或是礫灘地形，而在海堤地區若造成海水高過防波堤而溢淹，往往都會溢淹超過 50 公尺，因此本研究定義以 50 公尺為溢淹災害發生應當合適。本研究定義溢淹條件為溢淹高度超過 50 公分，主要考量到海水溢淹陸地後要產生危害需要一定的溢淹高度與強度，因此在定義選取溢淹的條件下，以溢淹入陸地 50 公尺且溢淹高度超過 50 公分為溢淹條件。此兩條件與模式模擬地形的離岸 50 公尺岸線網格數長度比值，定義為溢淹機率，圖 9 為溢淹機率定義之簡示圖：黑點為岸線，紅點為離岸 50 公尺線，藍點為水溢淹的點位，黃線為溢淹範圍線，此例紅點與藍點相疊的點位總計有 3 點，紅點總數為 8 點，因此溢淹機率為 $3/8=0.375$ 。本研究中溢淹機率之定義不採用面積之主因為每個港區之面積均不一，可能產生每個港區皆會得相同之溢淹機率，會無法反映實際上海嘯之溢淹風險；而用海岸線作為溢淹機率之定義，本研究認為此種方式較能反映出海嘯是否造成內陸溢淹仍須視當地高程而定之物理意義。

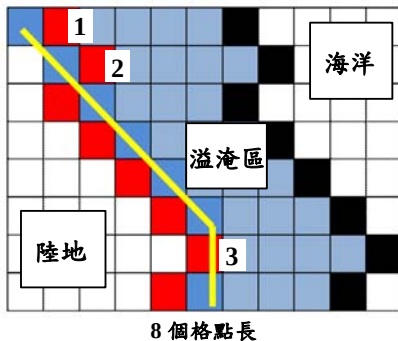
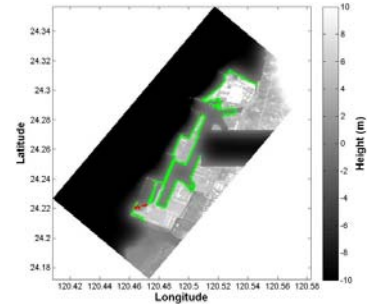


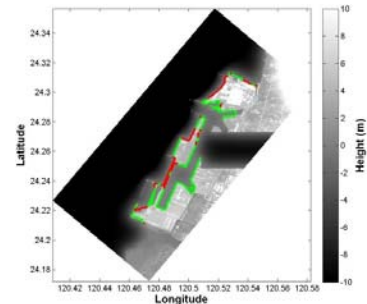
圖 9 溢淹機率簡示圖

四、結果

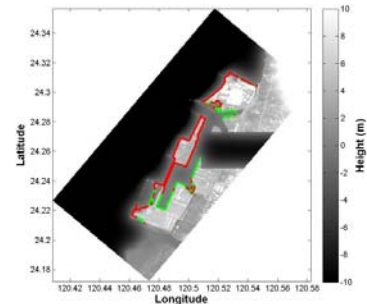
圖 10(a)~(d)分別為臺中港分別在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹點位分佈；紅色點表示離岸 50 公尺且溢淹高程達 50 公分之點位。計算結果則列於表 4。



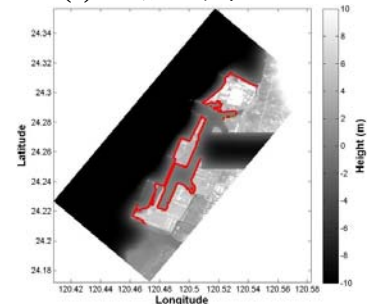
(a) 入射波高為 0.5 公尺



(b) 入射波高為 2 公尺



(c) 入射波高為 4 公尺



(d) 入射波高為 10 公尺

圖 10 入射波高為 0.5~10 公尺時之溢淹點位分佈

表 4 臺中港及布袋港各入射波高下對應之溢淹機率

入 射 波 波 高(m)	離海 50m 的 海 岸 線 點 數	溢 淹 高 度 大 於 0.5m 的 點 數	溢 淹 機 率
0.5	10730	205	1.91%
1		420	3.91%
2		2883	26.85%
3		4949	46.12%
4		6377	59.39%
6		8327	77.55%
10		10593	98.66%

臺中港 126 個假設震央各地震矩規模下之最大波高分佈如圖 11；分析結果顯示馬里亞納海溝(含亞普海溝)、伊豆小笠原海溝會對中部港口產生較大之外海波高；2011 年 3 月 11 日之東日本海嘯位於東經 142.597 度，北緯 38.486 度，地震矩規模 9，臺中港實測最大波高約為 0.16 公尺，與本計畫假設震央位址 142.88 度，北緯 39.06 度(編號 59)，利用假設之參數計算出預測值，臺中港預測最大波高為 0.27 公尺，相較之下仍屬相當吻合。另外，評估結果也顯示臺中港在大地震矩規模下外海最大波高不超過 2 公尺；雖然遠低於溢淹潛勢圖之入射波高，但因考量防災需求及建立各港統一之標準評估程序，故在本研究中臺中港之溢淹潛勢圖及相關分析。根據表 4 之計算結果，可以以內插方式計算本計算假設地震矩規模下及斷層參數所產生之最大波高對應之溢淹機率，其分佈如圖 11 及圖 12 所示。是否造成溢淹仍然要視外海波高及現地高程而定，由計算結果顯示，即使在地震矩規模 9 之情況下，溢淹範圍及機率仍非常有限。

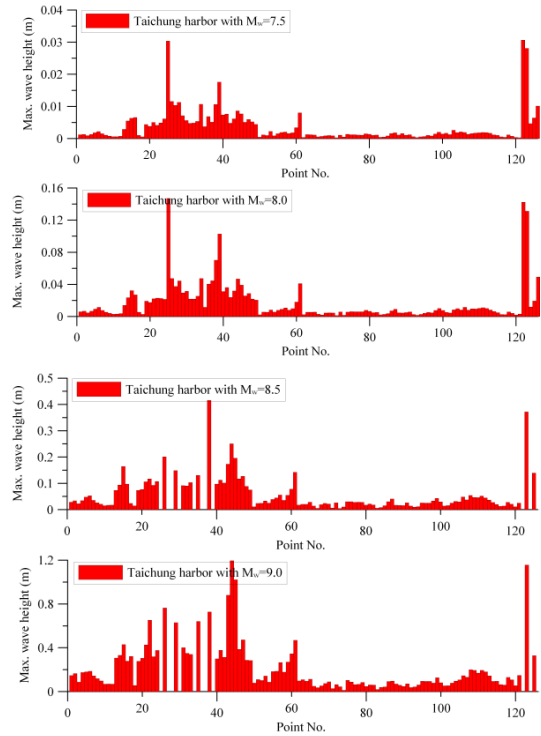


圖 11 臺中港在各種地震矩規模下之最大波高分佈

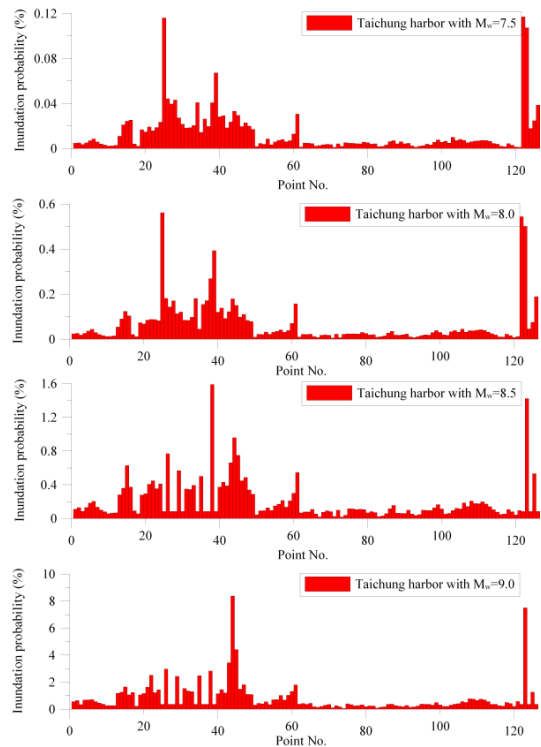


圖 12 臺中港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈

五、結論

完成海嘯地震發生次數期望值之評估、海嘯對臺中港產生之水位變化及使用模式模擬不同程度波高溢淹各鄉鎮之狀況並定義溢淹機率後，最後將五個規模(7、7.5、8、8.5、9)海嘯地震次數期望值，乘上淺層海源地震機率及五個規模發生海嘯產生之溢淹機率，加總各分量即得臺中及布袋港未來 50 年及 100 年發生海嘯且溢淹之機率；其統計上之意義即是「某個特定點位面對所有潛勢震源點在未來 50 年及 100 年間發生超過地震矩規模 7 之海嘯且溢淹之或然率」。計算結果為臺中港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.18%，100 年為 0.33%。分析結果遠小於基隆港及臺北港之風險值，主要是因為臺中港現有之高程可抵擋大部分震源及地震矩規模所產生之波高；但因為高程之影響不至於產生溢淹，故其風險值甚低。

參考文獻

- 1.交通部運輸研究所港灣技術研究中心，「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(4/4)」，2011。
- 2.交通部運輸研究所港灣技術研究中心，「提昇海岸及港灣海嘯模擬技術之研究(1/4)」，2012。
- 3.Chen, Guan-Yu, Chin-Chu Liu, and Chia-Hao Lin ” Probabilistic Forecast of Tsunami Inundation (PFTI) and Earthquake-induced Tsunami Inundation Probability (ETIP)— Algorithm and Application to the Southwest Coast of Taiwan,” Tsunami Simulation for Impact Assessment, pp.74-83,2011.
- 4.Chen, Guan-Yu and Chin-Chu Liu, “Evaluating the Location of Tsunami Sensors: Methodology and Application to the Northeast Coast of Taiwan” , Terr. Atmos. Ocean. , 20(4), 563-571,2009.
- 5.Gusiakov, V. K. “Tsunami generation potential of different tsunamigenic regions in the Pacific,” Marine Geology, 215, pp.3-9,2005.
- 6.Gutenberg, B., and C.-F. Richter, “Frequency of earthquake in California,” Bull. Seismol. Soc. Am., 34, pp.185-188.,1944.
- 7.Wang, X. M. and P. L.-F., Liu, Cornell Multigrid Coupled Tsunami model COMCOT) User Manual, Cornell University,2007.

臺中港區北淤沙區第二、三期工程成效探討

溫志中 弘光科技大學環境與安全衛生工程系 副教授
蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員
徐稚昀 弘光科技大學環境工程研究所 研究生
卓孟賢 弘光科技大學環境工程研究所 研究生
賴依琳 弘光科技大學環境工程研究所 研究生

摘要

本研究對於臺中港北淤沙區第二期工程以及進行之第三期工程，成效進行回顧，探討第二期與第三期工程於臺中港北淤沙區設置後對北淤沙區之影響。文中以現地勘查方式對北淤沙區進行系列呈現，以探討在設置海岸結構物後對海岸地形之影響，文中勘查期間為 2011 年 5 月至 2012 年 12 月，藉由此研究過程，評估飛沙防禦對策之效益與適用性。

一、前言

港灣建設常於自然海岸建造突出之港灣結構物，破壞了原有漂沙平衡機制，而造成鄰港附近地形變遷，再加上近年常發生異常的海、氣象事件，港灣鄰近上、下游河川持續的排放沙源與強勁的季節風常將大量在平緩沙灘上之沙吹向下游，故常發生海岸侵蝕與淤積及港池淤積的現象。海岸地形變遷發生原因包括：海氣地象條件、港灣結構物建造的形式位置、上下游河川輸沙及人為搬移等，其變遷機制極為複雜，在進行許多改善設施計畫前，需先瞭解其整個變遷機制，以使改善方案達到預期的效果。

臺中港務局(民國 101 年 3 月改制為臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司)於民國 65 年建港後，針對臺中港鄰近海域漂沙現象進行一系列研究。其

主要研究包括：臺中港第一期工程完工報告(1985)；臺中港漂沙評估報告(1979)；臺中港港口擴建計畫評估研究(1988)；臺中港北側淤沙區漂飛沙整治規劃研究(1992)；臺中港漂沙防制與新生地開發(1994)；臺中港港池泊渠疏浚及圍堤造地規劃(1999)；臺中港北側淤沙區漂飛沙整治暨生態保育研究(2003)；臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書(2009)。為解決臺中港北側淤積問題，港務局持續以圍堤造地及淤沙區漂飛沙整治方式對海岸漂沙進行處理。依據「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」(2009)報告指出，臺中港海域漂沙現象除使北淤沙區因沙地面積增加導致飛沙問題更加嚴重外，歷年來持續淤積之漂沙，已使北淤沙區及南側港外航道海域水深地形變淺，致使北淤沙區逐漸呈現飽和，降低攔阻海岸漂沙能力。

該計畫書亦指出，臺中港北淤沙區因沙地面積增加導致飛沙問題嚴重。前人對於臺中港以現地試驗進行研究，如林等人(2004)針對臺中港潮差較大之區域進行飛沙整治研究，研究結果顯示，臺中港北側淤沙區每年飛沙搬運速率據估計約為 $14.3 \text{ m}^3/\text{m-year}$ ，淨搬運速率則為 $13.9 \text{ m}^3/\text{m-year}$ 。吳(2006)以現地試驗方式，針對臺中港飛沙量進行推估，以 H-2 水平捕沙器推估之飛沙量為 $14.67 \text{ m}^3/\text{m}$ ，以 BSNE 垂直捕沙器推估

之飛沙量為 $52.89 \text{ m}^3/\text{m}$ ，比對現場地形量測數據，該期間(2005/11~2006/01)臺中港堆沙量為 $73.56 \text{ m}^3/\text{m}$ 。

本文透過(1)蒐集臺中港附近海岸飛沙文獻資料，整理並探討該地區海氣象、水文及飛沙特性。(2)分析現有臺中監測站之風速及風向之每月及每季特性。(3)現地勘查方式，探討飛沙與海岸侵淤的相關性，以瞭解飛沙對海岸侵淤的影響，並探討飛沙對附近港池可能造成的淤積威脅。藉由此研究過程，評估飛沙防禦對策之效益與適用性，並提出適合該區有效之飛沙防治對策。

二、臺中港北淤沙區飛沙現況

由於臺中港位於臺灣中部大甲溪及大肚溪出海口間之海岸，因近年來海象及氣象異常，造成鄰近港區上下游河川持續的排放沙源，並受潮汐、海浪及強勁東北季節風影響，常將大量在平緩沙灘上之沙吹向下游，發生海岸飛沙的現象。

2.1 北淤沙區簡介

臺中港務局於民國 80 年辦理「臺中港北側淤沙區整治第一期工程」，造地 116 公頃並進行定沙植林，由於北淤沙區受大甲溪沙源供應影響，漂沙持續搬運至北淤沙區，近岸區域於退潮期間形成廣闊灘地，堆積之沙丘更隨風侵入航道及漁港水域。臺中港務局於民國 88 年接續辦理「臺中港北側淤沙區整治第二期工程」，在北防波堤與北海堤間、漁港西側近岸灘地圍堤造地植林約 39.3 公頃，並設置 1,068 m 長擋土牆兼防風定沙功能，於民國 88 年至民國 99 年間，第二期工程提供商、漁港良好之遮蔽環境，如圖 1 所示。

圖 2 標示 6 個不同位置所攝影之圖片，圖 3 分別為個別細部之影像。飛沙

由位置(1)平緩沙灘上之沙礫因退潮時受到日照影響，加上東北季風將大量沙礫向下游，於位置(2)可觀察出沙礫移動方向及飛沙淤積高度已達防飛沙設施之高度，於位置(3)下方之防沙牆底部有明顯的淤積，一直延續至位置(4)防沙牆轉角處形成大量淤積外，再因受防沙牆導流效果，將飛沙被帶入到位置(6)北防波堤堤址附近處。對應北防波堤北側廣大的沙灘，飛沙飛經過位置(5)，最後飛沙大量淤積至位置(6)。



圖 1 臺中港北淤沙區二期整治



圖 2 臺中港北防波堤北側附近海岸地形圖



圖 3 臺中港北防波堤位置 1~6 飛沙淤積圖 (2011/05 攝影者:溫志中)

2.2 風速及風向特性

依據中央氣象局梧棲氣象站觀測資料，本研究繪製梧棲氣象站 2011 年 1 月~2011 年 9 月風玫瑰圖，7~8 月間以 SSE 向為主要風向，風速大約為 5~10m/s。9 月至 1 月風力較強，風速約大於 20m/s，風向以 N~NNE 向為主。此外，依據交通部運輸研究所港灣技術研究中心自 2001 年 7 月至 2009 年 11 月期間歷年風速及風向統計資料，結果如表 1 所示。就風向觀測結果得知，港區附近主要風向為 N~E 向，約佔歷年觀測的 62.4%；其次為 S~W 向，約佔歷年觀測的 18.7%。其中風向為 N~E 向，主

表 1 臺中港 2001 年至 2009 年風之風速及風向統計表

年 份	平均 風速 m/s	風速		風速 <5 (%)	風速 5~10 m/s (%)	風速 10~15 m/s (%)	風速 >15 m/s (%)	靜風 <0.3 m/s (%)	風向 N~E (%)	風向 E~S (%)	風向 S~W (%)	風向 W~N (%)
		最大值 m/s	風向									
2001	5.8	21.3	NNE	53.6	27.5	16.6	2.4	0.2	66.2	10.8	13.4	0.2
2002	5.6	26.5	NNE	59.2	26.0	8.9	5.9	0.1	59.3	12.6	18.8	0.1
2003	5.1	17.8	NNE	60.0	26.7	12.5	0.8	0.1	62.6	10.0	18.7	0.1
2004	5.2	17.9	NNE	57.7	29.6	12.3	0.4	0.0	65.2	9.4	15.8	0.0
2005	5.3	27.3	NNE	60.2	25.2	13.2	1.4	0.0	62.1	9.4	19.6	0.0
2006	5.3	18.7	NNE	57.5	28.8	12.0	1.8	0.1	64.3	9.2	19.6	0.1
2007	5.3	23.3	NNE	59.6	26.3	12.5	1.7	0.2	60.6	12.2	19.3	0.2
2008	9.1	37.5	NNE	32.2	32.9	15.3	19.7	0.0	55.8	4.6	28.9	0.0
2009	5.6	26.2	NNE	60.6	21.2	11.6	6.4	0.2	65.2	7.6	14.3	0.2
平均	5.8	37.5	NNE	55.6	27.1	12.8	4.5	0.1	62.4	9.5	18.7	0.1

要為冬季季風風向。就風速結果得知，風速小於 5m/s 以下者，約佔歷年觀測 55.6%；風速介於 5~10m/s 之間者，約佔歷年觀測的 12.8%；風速大於 15m/s 以上者，約佔歷年觀測的 4.5%。歷年之平均風速為 5.8m/s；歷年最大風速者為 37.5m/s，月平均風速大於 10m/s 以上者皆發生在冬季，盛行風向多集中在北至東北向。總結長年風速觀測結果，風速為靜止狀態在臺中港幾乎很少發生，風速大多處於 5m/s 以下，但 5m/s 以上之風速約佔 44.4%。此一狀態之風速，將可啟動沙灘區之沙粒，造成沙粒在沙灘區移動產生海岸飛沙。

三、第二期飛沙防治工程效果分析

由於臺中港北淤沙區受到東北季風作用及潮汐所產生廣大裸露沙灘的影響，導致飛沙的運移情況明顯。本研究針對第二期工程的防治成效進行成效檢討，經由地形量測、現地飛沙量測與現地勘查對臺中港的防飛沙設施進行現況成效檢討，如下所示：

3.1 第 I 區無、擋風牆

此區域沙灘自然裸露，大部分區域內無設置飛沙防治工法於沙灘區域內，受東北季風影響導致沙源由第 I 區往第 II 區及第 III 區移動或飛離北淤沙區，於擋風牆附近處受擋風牆遮蔽影響，風場減弱飛沙於擋風牆附近處產生淤積(圖 7)。



圖 7 第 I 區沙灘與擋風牆附近處淤沙區
(2011/10 攝影者:溫志中)



圖 9 第 II 區海堤後方 (a 向海 b 向岸)
(2011/10 攝影者:溫志中)

3.2 第 II 區海堤、擋風牆

此區域受海堤高度影響，當風速較小情況下，飛沙經過此區域會淤積於此區域內(圖 8)。當風速較大時，飛沙將越過此區域，往第 III 區移動或飛離北淤沙區(圖 9)。由於風場受海堤高程影響，將致使表面風場入射角度產生些許偏折，於北淤沙區南側海堤，受海堤高程影響，於堤前風場沿著堤體往南偏折，於堤後無明顯遮蔽及堤腳風速增大影響，產生沙床裸露的結果(圖 10)。



圖 8 第 II 區海堤前方 (2011/10 攝影者:溫志中)



圖 10 第 II 區海堤後方遮蔽區
(2011/10 攝影者:溫志中)

3.3 第 III 區編籬定沙、擋風牆

受飛沙防治設施的設置，此區域為北淤沙區定沙的主要區域，受編籬定沙設施的建置，飛沙於表面移動時將被阻擋於編籬定沙區域內(圖 11)，若風速較大時，飛沙則以躍動或懸浮方式往南移動。當編籬定沙設施所淤積的沙量到達飽合時，風場會受擋風牆影響，最後交會於南側的擋風牆附近處，此一現象將導致飛沙最後大量淤積於南側擋風

牆(圖 12)，當編籬定沙區與擋風牆淤積達飽合情況下，飛沙將繼續往南運移至航道中。



圖 11 第 III 區編籬定沙區前方
(2011/10 攝影者:溫志中)



圖 12 第 III 區北防波堤堤址處
(2011/10 攝影者:溫志中)

3.4 綜合比較

本研究分析第二期工程成效與實施結果，防飛沙設施能將大部分的海岸飛沙穩定於北淤沙區間，故可以得知所設置之防飛沙設施能有效的穩定北淤沙區的海岸飛沙於第 III 區域內。但由於第 I 區的沙灘並無防飛沙設施，致使

海岸飛沙將不斷的產生，而編籬定沙區將不斷的阻擋飛沙運行而最終達到飽和，導致定沙的功能大幅降低。

此外，海岸附近的結構物設置(如：海堤與擋風牆)將導致風行進方向的改變，進而影響飛沙移動路徑。當編籬定沙區設置於非飛沙行進路線時，其定沙效果將不顯著，因擋風牆具有導流的作用，飛沙將被導流至風場交會處(圖 13)，導致北淤沙區南側擋風牆附近出口處有大量的淤沙情形，當擋風牆堤址處的飛沙達到飽和則飛沙越過此區往港區移動。



圖 13 海岸結構物與風場作用示意圖

四、第三期整治工程簡介(民國 100 年~現今)

近年來由於北淤沙區近岸灘地快速淤積，加上潮汐作用影響，北淤沙區海域飛沙現象更為嚴重，編籬定沙區域內至擋風牆間之飛沙已堆積至擋風牆頂端，在強風作用下越過擋風牆飛離北淤沙區。依據臺中港務局(2009)「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」報告結果，分析民國 95 年~民國 96 年實測地形資料，估計停留在二期整治區範圍內之飛沙堆積量年約 15.1 萬方。此外，從現場飛沙實際堆積情況估算，估計停留在二期整治區與北防沙堤間之飛沙堆積量每年約 3.4 萬方，停留在北防波堤後方之堆積量約 1.5 萬方，侵入後線航道及漁港水域之

沙量至少約 10 萬方。因此，整體估算北淤沙區年飛沙量至少在 30 萬方以上水準。

在北淤沙區近年淤積加快累積下，淤沙區灘地面積日益擴增，且擋沙牆逐漸失去顯著效果，臺中港務局自民國 100 年起開始進行第三期整治工程，整治區地形如圖 14 所示，圖 15 為第三期北淤沙區現況示意圖，5 個位置如圖 16 所示。位置(1)新設擋風牆最北側編籬定沙現場照片，位置(2)為整治後編籬定沙區現場照片，位置(3)、(4)、(5)分別為整治後新增擋風牆前沙灘區與擋風牆後方編籬定沙區現場照片。

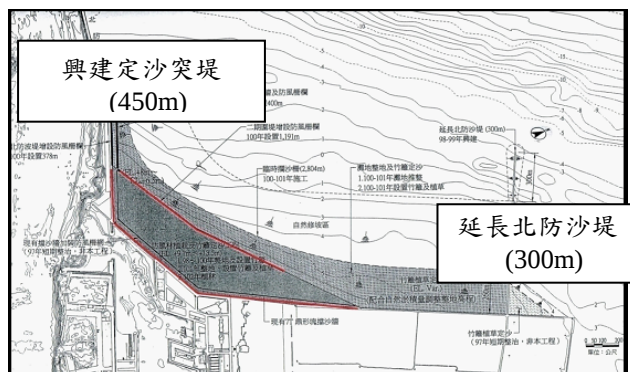


圖 14 臺中港北淤沙區三期整治區地形圖



圖 15 臺中港北淤沙區三期整治區示意圖

五、第三期整治方案預期成效

依「臺中港整體規劃及未來發展計畫(96 年至 100 年)」，北淤沙區第三期整治工作原預定在民國 98 年至民國 100 年間執行，臺中港務局採柔性海岸工法，配合自然漂飛沙現象進行漂飛沙



圖 16 北淤沙區三期整治區位置 1~5 現況
(2011/10 攝影者:溫志中)



圖 17 第三期工程編籬定沙區
(2011/10 攝影者:溫志中)

整治。主要工程期程如下：

2011 年工程

臺中港務局於 2011 年 12 月完成北防沙堤延長工程，循原堤體離岸方向向外海延長 300m，以提高北淤沙區攔阻漂沙能力。並在現有之二期整治區辦理

防風林植栽工程，採中央高、四周低的方式，地面推整完成後全區設置竹籬定沙，如圖 17 所示。

完成於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄，於北防波堤堤頂處設置一道長防風柵欄，其現況如圖 18 所示。防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防堤堤後港池及二期整治區內，形成灘地竹籬設施後側之飛沙防護線。



圖 18 第三期工程於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄 (2011/10 攝影者:溫志中)

2012 年工程

臺中港務分公司於 2012 年進行植樹工作。竹籬、植草及植林，竹籬設置原則上採 1m 高竹籬、間距 10m 為主要配置，另再視區位特性搭配 2m 高竹籬分區交錯配置以增強定沙能力，配置走向採與風向垂直，竹籬間植草原則上採馬鞍藤、濱刺麥、蔓荊等第一線臨海防風定沙植物混種辦理，植林樹種，前線區域將優先種植木麻黃，較後線區域再搭配黃瑾、草海桐等樹種分區混種。在北防波堤北側第一道轉折處，朝北向（約與該處漂沙動線垂直）設 1 座長 450m 定沙突堤，以穩定灘地地形並兼具提高北淤沙區攔阻漂沙能力。

2013 年至 2014 年預計完成工程

臺中港務分公司預計於 2013 年至 2014 年間完成外圍灘地正辦理灘地整

地及定沙工程工作，配合高、低窪地形平順推整，地面推整後，全區再設置竹籬定沙，再於竹籬間植草強化定沙效果，整地後之灘地將高於海水面 8.0m 至 6.5m。

六、第三期整治方案效果評估

第三期整治方案示意如圖 19 所示，圖 20 為北防沙堤北側，臺中港北淤沙區北防沙堤北側之編籬定沙區現況成效，圖 21 為沙灘區設置定沙工管之情況，圖 22 為擋沙牆及防風柵欄北側，部份呈現飛沙越過擋沙牆進入編籬定沙區之情況，圖 23 為防風柵欄及擋沙牆內側成效圖，圖中顯示，此區域顯示出大量飛沙淤積在結構物上，而編籬定沙區之飛沙淤積量已達飽和狀態，部分區域漸失去飛沙攔截作用，圖 24 為防風柵欄及擋沙牆內側南側出口，照片中顯示，飛沙已逐漸大量堆積至擋風牆及防風柵欄堤頂處，可能呈現越沙的情況發生。第三期工程規劃北防波堤堤頂處設置長防風柵欄，此設施將可有效的阻擋飛沙於北防波堤前，但由於此設置區域為飛沙於此區域運移的最終路徑，飛沙將於此處匯集，當淤積到達一定高度時，飛沙將順著地形飛越擋風牆進入港池。

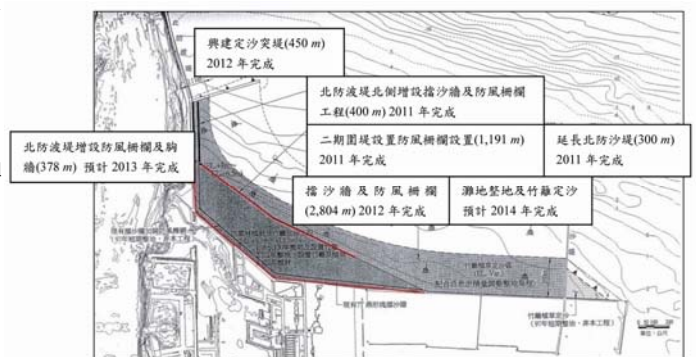


圖 19 第三期工程海岸結構物與風場作用示意圖



圖 20 北淤沙區三期整治區北防沙堤北側編籬定沙區 (2012/09 攝影者:溫志中)



圖 23 北淤沙區三期整治編籬定沙區 (2012/06 攝影者:溫志中)



圖 21 北淤沙區三期整治區沙灘區 (2012/09 攝影者:溫志中)



圖 24 第三期工程北防波堤堤址處淤沙 (2012/06 攝影者:溫志中)



圖 22 北淤沙區三期整治編籬定沙區 (2012/06 攝影者:溫志中)

七、結論與建議

1. 分析北淤沙區之整體成效，區域 I 為沙灘區受到沿岸流作用影響，若無特殊氣象條件發生，此區域沙灘呈現微量淤積的趨勢。區域 II 為海堤與沙灘區交界區域，此區域沿岸輸沙量少量累積於 II 區域內，其餘期間皆呈現微量侵蝕的現象發生。推測此區域的沙粒受到東北季風作用影響，被帶往區域 III 的編籬定沙區中。區域 III 為編籬定沙區，I 區域與 II 區域之飛沙將被帶入此區域中，在經過東北季風作用後，呈現沙源並無明顯增加的情形發生。經實地勘查部分沙粒

- 被帶往南側越過擋風牆進入港區航道內，導致區域內的飛沙體積減少。
2. 經 2011 年 3 月至 2011 年 12 月現地勘查，北淤沙區第二期防治工程設置後，編籬定沙區灘地成長速度緩慢，部分沙粒被帶往南側越過擋風牆進入港區航道內，故以第三期防治工程進行飛沙防治。
 3. 經由現場勘查結果得知，大型海岸結構物的設置高程將對風場造成改變，建議進行擋風牆設置時增加風場分析，以了解區域內的風場結構，以提升編籬定沙工法的效益。
 4. 於 2013 年進行竹籬、植草及植林的植樹工作，外圍灘地正辦理灘地整地及定沙工程工作，整地後之灘地將高於海水面 8.0m 至 6.5m，防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防波堤堤後港池及整治區內。
 5. 第三期工程灘地整地後，應可對區域內之飛沙達到整治的效果，但對於整治區前方海域重新形成之沙灘，建議應以數值模擬方式對灘地形成區域與形成速度進行細部的評估，並建議持續對該區域進行監測，對於北淤沙區的監測，以全區域高程測量方式對北淤沙區進行測量。

參考文獻

1. 交通部臺中港務局 (1979)，「臺中港漂沙評估報告」。
2. 交通部臺中港務局 (1985)，「臺中港第一期工程完工報告」。
3. 交通部臺中港務局 (1988)，「臺中港港口擴建計畫評估研究」。
4. 交通部臺中港務局 (1992)，「臺中港北側淤沙區漂飛砂整治規劃研究」。
5. 交通部臺中港務局 (1994)，「臺中港漂沙防制與新生地開發」。
6. 交通部臺中港務局 (1999)，「臺中港港池泊渠浚及圍堤造地規劃」。
7. 交通部臺中港務局 (2003)，「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治暨生態保育研究」。
8. 交通部臺中港務局 (2007)，「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程可行性研究」。
9. 交通部臺中港務局 (2009)，「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」。
10. 范姜明威 (2010)，「台灣中部河口飛砂及揚塵調查與研究」，中興大學水土保持學系碩士學位論文。
11. 江永哲和張文詔 (1978)，「海岸飛砂量估算之風洞試驗」，中華水土保持學報，9 (2)，第 55-81 頁。
12. 林宗儀、許泰文和臧效義 (2004)，「台中港飛砂整治研究」，26 屆海洋工程研討會，第 677-682 頁。
13. 吳昌翰 (2006)，「台中港海岸飛砂量推估之研究」，中興大學水土保持學系碩士學位論文。

花蓮港共振源譜之探討

林立青 中央研究院地球科學所博士後研究員

摘要

自發現花蓮港於颱風期間經常產生港內共振現象，相關研究已提出亞重力波為重要的影響來源。然而受限於觀測資料的時空連續性，亞重力波之於港灣共振的關聯性僅利用數值模式來進行分析與探討。本研究將利用觀測數據及線性頻譜理論去除地形及區域效應影響的因素，以求得花蓮港內外之共振源譜(source spectrum)特性。經由背景及颱風期間的能譜相關特性，發現兩個主要的共振源譜分布於頻率 0.03 至 0.1Hz 與 0.003 至 0.02Hz。前者之頻率接近颱風波浪，後者之頻率則接近亞重力波之成分。本研究亦應用該線性頻譜理論於花蓮港港外波高的推算。

一、前言

港灣振盪問題自 1990 年以來嚴重的影響花蓮港之船舶動態運作，尤以內港所受的沖擊最為嚴重。張 (1996) 與曾和簡(1996)最早披露長週期波浪之於港池振盪現象的觀測記錄。往昔港池共振之數值計算的方式，大都藉由數值模形在假設單一入射波浪條件下，以激發港內之水位振盪之增幅，並計算出波高放大係數(amplification factor)做為港池振盪之指標。莊、江(2000)應用緩坡之 MIKE21-EMS 模式，以亞重力波(infragravity waves)作為入射波浪條件，並計算出振幅反應曲線。李等人(2001)考慮港外地形的線性港池共振模式，以短週期波浪做為入射條件並應用至花蓮港。

張、林(2003)年提出以最小二乘法之單頻模式分析訊號中所有成份波及其頻率，顯示 Tim 颱風內港之主成分波周期為 86.7 與 152 秒。其測試結果具有精準辨識能力，該模式並應用於花蓮港颱風波浪資料之處理。林等人(2003)模擬港外含有長波成份之波浪入射，並經由 MIKE21_BW 之 Boussinesq 模式所計算之內港水位變化，得到模擬之內港水位振盪與實測水位之自相關性結果相似。

蘇(2003)提出影響花蓮港共振之入射波浪可能有三種情形，一為由波浪非線性交互作用產生之自由前進亞重力波，二為群波非線性作用所產生的非自由亞重力波，三為緣岸波(edge waves)。由於港外之波浪實測方式較不完善，因此自港外入射之波浪種類及其物理機制即無法完整的描述。

Chen(2004)則以 Mike21-BW 模式模擬 140 及 160 秒的亞重力波，兩種不同的亞重力波影響港池震盪的形態，140 秒的震盪發生在港外池的橫向震盪，160 秒的模態則發生縱向沿花蓮港航路的震盪。Chen(2006)提出以高頻頻譜的水位非線性交互作用，產生長週期的水位震盪，此為港內振盪的來源，並以緩坡方程式建構波浪傳輸的過程。Maa 等人(2011)提出 RIDE 延伸型的緩坡方程式，計算三種不同週期的入射波浪(100、160 及 220 秒)的長波，並說明港池震盪的來源為自由入射的亞重力波及間接來自沿岸傳遞的亞重力波，此兩種不同的來源影響港內不同位置

的水位波動。Luick(2008)提出複合港形(有內港及港外的港池，類似花蓮港港型)的水位震盪，由長時間量測的水位數據獲得港池震盪約為 67、35、26 分鐘，該水位震盪為氣候變化時發生。該文以數值模擬不同的緣波對港池震盪的影響。

由於港外觀測資料無長時間的連續觀測，影響花蓮港共振的來源則無法明確的釐清。因此港灣技術研究中心於 2004 年開始進行為期四年的港內與港外的同步觀測，並利用上述資料結合中央氣象局於花蓮港內之連續觀測潮位，本文將分析颱風期間的資料，並分析其共振源譜的特性。以釐清共振來源的週期特性。

二、分析方法及資料

2004 至 2008 年間港灣技術研究中心為瞭解花蓮港共振問題，進行為期四年的港內外同步觀測，並記錄多場颱風事件。觀測資料遍佈港內有 8 個測站，港外則有 9 個測站(示如圖 1)。觀測頻率為 2Hz 且於每一整點時間同步記錄 2800 個水位資料。本文選取 2005 年的海棠(Haitang)、瑪莎(Matsa)及泰利(Talim)等三個颱風事件進行分析。另外以中央氣象局於花蓮港內所觀測之潮位資料，其資料為連續觀測且取樣頻率為 1Hz，自 2008 年起迄今約有五年的觀測值。並以 2012 年杰拉華(Jelawat)及三巴(Sanba)與 2008 年之雷馬遜(Rammasun)颱風進行分析。

在港灣共振問題上，數值模式雖然可推估共振的特性，但是仍須考慮實際海底地形。本文以 Rabinovich(1997)提出的簡易方法，分離受地形及港灣特徵形狀之水位頻譜，以釐清影響港灣共振的源譜特性。

考慮在不同觀測位置受地形影響

的共振特性，任何時間的水位紀錄 $\eta(t)$ 可以表示共振來源 $Z(t)$ 與地形響應 $w(t)$ 的旋積，式如下示

$$\eta(t) = \int_0^\infty w(\tau) Z(t-\tau) d\tau \quad (1)$$

上式在頻率域可表示為

$$S(\omega) = W(\omega) E(\omega) \quad (2)$$

其中， ω 為角頻率， $S(\omega)$ 為水位頻譜， $W(\omega)$ 地形響應參數， $E(\omega)$ 則表示來源的頻譜特性。假設任何的觀測頻譜 $S_{obs}(\omega)$ 可以表示為受到颱風波浪影響 $S_r(\omega)$ 及與颱風事件無關聯的背景頻譜 $S_b(\omega)$ 之總和，並示如下式

$$S_{obs}(\omega) = S_r(\omega) + S_b(\omega) \quad (3)$$

應用式(2)地形響應與水位頻譜的關係於式(3)，則可求得式(4)及式(5)

$$S_r(\omega) = W(\omega) E_r(\omega) \quad (4)$$

$$S_b(\omega) = W(\omega) E_b(\omega) \quad (5)$$

上述兩式表示地形響應隨著空間的特性而有不同的變化，但不隨時間改變；來源的頻譜特性則隨著時間改變，但是不隨空間特性而改變。並將上述兩式帶入(3)，求得式(6)

$$E_r(\omega) = E_b(\omega) \left[\frac{S_{obs}(\omega)}{S_b(\omega)} - 1 \right] \quad (6)$$

其中頻譜比值(spectral ratio)定義為 $S_{obs}(\omega)/S_b(\omega)$ ，該項不受不同觀測地點的影響。

因此，本文藉由颱風期間花蓮港內外的水位資料頻譜及背景頻譜的特性，以分析影響花蓮港共振的源譜特性。

三、分析結果

本文應用 Rabinovich(1997)之頻譜比值方法分析颱風期間之水位頻譜與其背景頻譜間的關係。分離地形響應的成分，以分析港內外之源譜之時空變化特性。

圖 2 為花蓮港內外之水位頻譜，每一頻譜分析圖中包含受颱風影響及背景的水位譜。在颱風期間港外之主要能量集中於 0.08Hz，能量較低之低頻部份則分布於 0.005 至 0.03Hz。港內測站則顯示頻率小於 0.04 Hz 之低頻能量大於颱風波浪（頻率介於 0.04-0.2 Hz）之能量。港內不同的測站受到港池形狀的影響，其低頻的主頻亦各自相異。另外，背景水位頻譜亦顯示相似的結果。由於低頻能譜分布因地點與港灣形狀而異，無法藉由港內外之波高放大特性精確推算於港外生成共振的低頻成份。

但若以頻譜比值方法分析，在颱風影響下，對背景頻譜之能量增幅特性。圖 3 顯示不同位置之頻譜比值。分析結果顯示，所有測站皆被分離出兩個主要的成分，其中表示受颱風波浪影響的成分則集中於 0.065 Hz。另外低頻的部分則分布於 0.003-0.02Hz，港內外測站皆顯示一致的結果。顯示頻譜比值之分析方法可將地形及港灣形狀的響應參數去除，使來源波浪的頻率能更加顯著。

另外圖 3 亦顯示海棠、瑪莎及泰利等颱風於各測站之頻譜比值，其結果顯示來源波浪之低頻成分之分佈一致性。而且來源波浪之高頻成份受颱風影響而增強，此條件下非線性作用則可能更顯著。Hasselmann (1971) 提出描述能量由高頻傳遞至低頻的理論機制，而這種因風浪之非線性作用所產生之長波，則稱為亞重力波 (Holman et al., 1978; Oltman-Shey and Guza, 1987)。

圖 4 顯示潮位資料為 1Hz 之取樣頻率，且為連續紀錄。潮位計設置地點接近圖 1 之 W3。因此其頻譜分析之頻率解析度較高。且颱風波浪頻譜顯示類似的共振頻率在 0.007 及 0.14Hz，但頻

譜比值則因去除地形因素所得之低頻波則分布於 0.003 至 0.02Hz。則顯示港內潮位站之分析結果，雖然在不同的颱風事件，但是其低頻分佈則與圖 3 的結果一致。

圖 5 顯示港內外低頻及高頻能量的分布特性，在不同的時間下，兩者低頻的能量分布相似，顯示港外的低頻波浪並未受到港灣形狀的阻擋而減弱。因此，當颱風能量增強時，低頻的來源波浪則可能隨著颱風強度增強而增幅。相對港外高頻的能量，港內的成分則受港灣的保護而降低。

此方法進一步可應用內港資料推算港外風浪。由於在颱風期間各測站的頻譜比值相當相似，藉由隨時間變化內港任一測站的頻譜比值乘上外港平均之背景頻譜值即可推算外港在颱風期間的波高。圖 6 顯示在瑪莎颱風期間，由港內 W8 測站推算港外之波高。其最大波高之推算值與觀測值約略一致。

四、討論

本研究應用頻譜比值方法以分離地形響應的成分，而獲得影響港內外的共同來源譜。並假設地形響應只隨空間的特性而變化，在任意點的觀測水位頻譜應包含地形響應成分及受颱風波浪影響的來源譜。由分析結果顯示，颱風期間港內外波浪的主要增幅成分在頻率 0.03 至 0.1Hz 與 0.003 至 0.02Hz。前者之頻率接近颱風湧浪，後者之頻率則接近亞重力波成分。颱風期間，港內潮位資料之頻譜比值與波浪資料之結果具有一致性。其中，兩主要成分隨著颱風能量增強而增加，但是只有低頻成分不受港灣形狀的影響而減弱。此結果顯示，港內外的來源能量在頻率上有相同的成分，且受颱風影響的增幅比值約略相似。

花蓮港的共振來源雖可以不同長周期入射波浪進行模擬，但是共振來源的週期特性則因模式與地形邊界而異。因此，本研究所應用之頻譜比值方法可明確區分來源之低頻波。此方法亦可分析各模式之結果，以進一步釐清不同模式與入射波浪條件的假設是否一致。

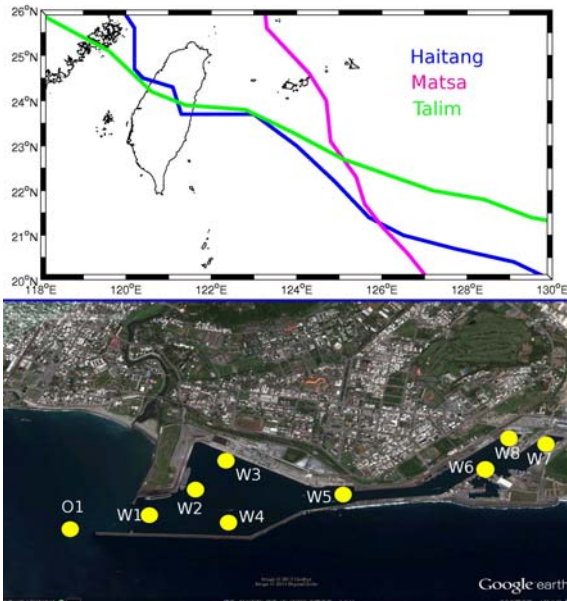


圖 1 花蓮港測站位置圖(下圖)及颱風路徑(上圖)

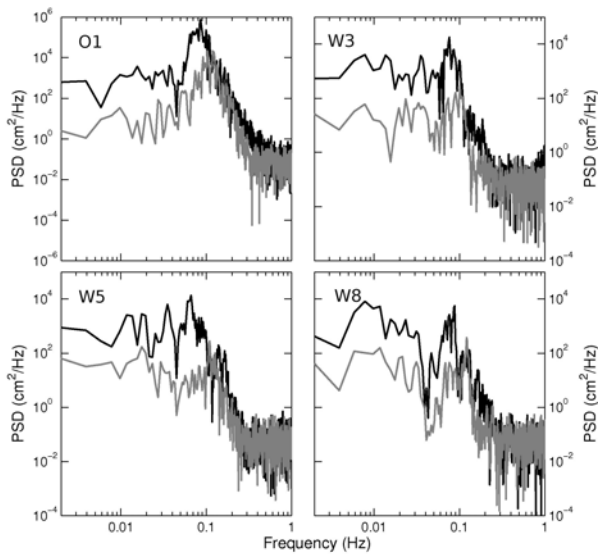


圖 2 2005 年瑪莎颱風期間花蓮港外(O1)及港內(W3、W5 及 W8)資料的頻譜分析。其中灰線為 9 月 3 日 00:00 之背景頻譜，黑線為 8 月 3 日 19:00 受颱風影響之水位頻譜。

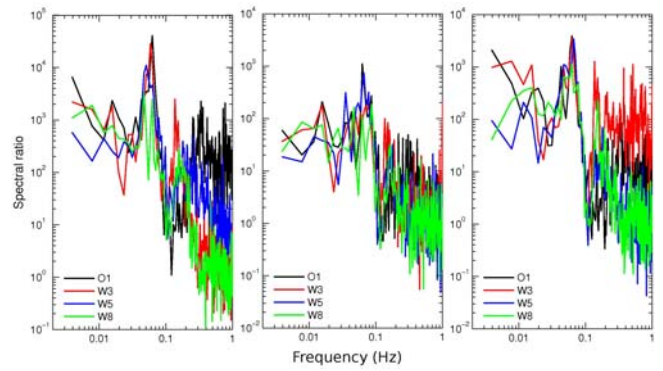


圖 3 2005 年海棠(左圖)、瑪莎(中圖)及泰利風颶期間各測站(右圖)之頻譜比值(spectral ratio)

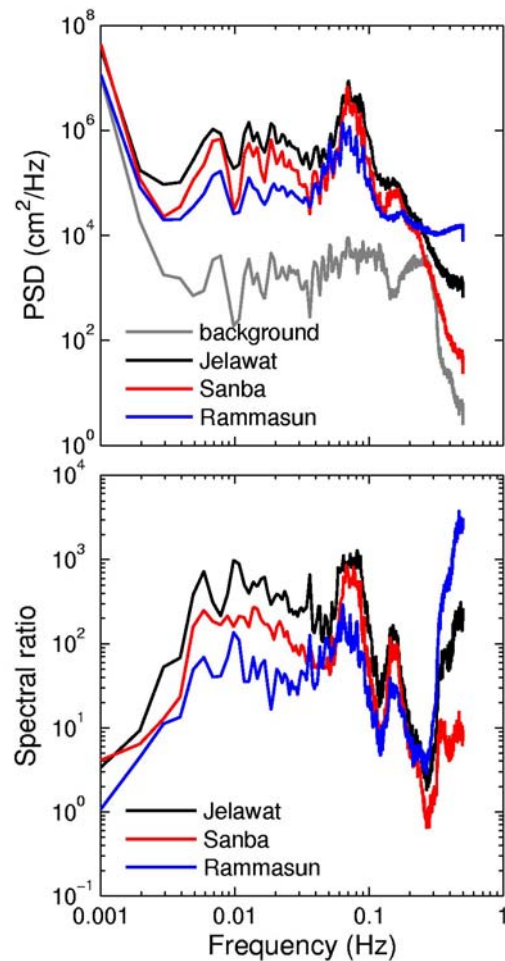


圖 4 颱風期間花蓮港潮位之頻譜及頻譜比值。其中灰線為 2012/09/23 00:00 之背景頻譜，黑線及紅線為 2012 年杰拉華(Jelawat)及三巴(Sanba)颱風，藍線則表示 2008 年之雷馬遜(Rammasun)颱風資料。

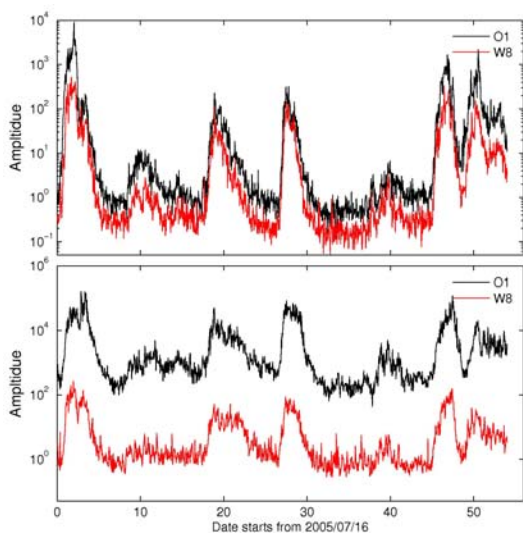


圖 5 頻譜比值隨時間變化之平均能量，其頻率介於 0.003 至 0.02 Hz(上圖)及頻率介於 0.03 至 0.1Hz(下圖)

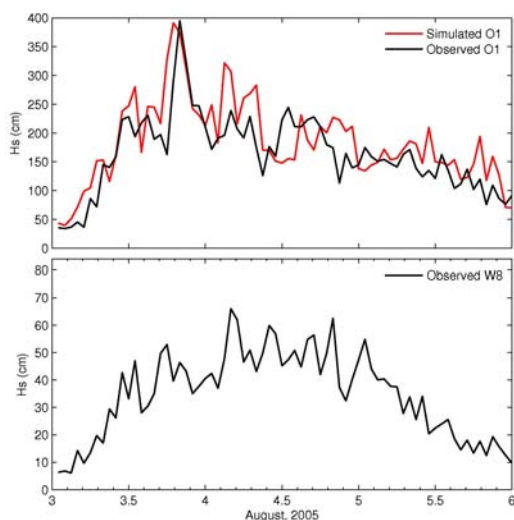


圖 6 上圖為港外(O1)在瑪莎颱風期間的實測及推算波高的結果；下圖為港內(W8)的實測波高

誌謝

本研究水位數據由「港灣技術研究中心」及「中央氣象局」提供，承蒙相關資料處理之協助，使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

- 1.張金機(1996)「花蓮港長波與碇泊船隻動態關係」，花蓮港港池振盪及其改善方案研討會，第 61-81 頁。
- 2.曾相茂、簡仲璟(1996)「花蓮港海域海象現場調查與分析」，花蓮港港池振盪及其改善方案研討會，第 31-59 頁。
- 3.莊文傑、江中權(2000)「亞重力波引起花蓮港之共振機制與對策」，第二十二屆海洋工程研討會論文集，第 578-585 頁。
- 4.李兆芳、劉正琪、張憲國(2001)「港池振盪之數值模擬計算」，海洋工程學刊，第一卷第一期，第 1-22 頁。
- 5.張憲國、林立青(2003)「花蓮港港池振盪之頻率與振幅辨識模式」，第二十五屆海洋工程研討會論文集，第 103-110 頁。
- 6.張憲國、林立青(2003)" 花蓮港內港水位共振訊號之模擬"，第二十五屆海洋工程研討會論文集，第 214-219 頁。
- 7.蘇明陽(2003)"花蓮港港池振盪入射波種類之探討與建議"，第二十五屆海洋工程研討會論文集，917-924 頁。
- 8.Chen, G. Y., Chien, C. C., Su, C. H. and Tseng, H. M. (2004) "Resonance Induced by Edge Waves in Hua-Lien Harbor," *J. Oceanogr.*, Vol. 60(6), pp. 1035-1043.
- 9.Chen, M. Y., Mei, C. C. and Chang, C. K. (2006) "Low-frequency Spectra in a Harbour Excited by Short and Random Incident Waves," *J. Fluid Mech.*, Vol. 563, pp. 261 - 281.
- 10.Holman, R. A., Huntley, D. A., and Bowen, A. J. (1978) "Infragravity waves in storm conditions,"

- Proc.16th Coastal Eng. Conf.*,
Hamburg, pp. 268 – 284.
11. Luick, J. L. and Hinwood, J. B.
(2008) “Water Levels in a Dual
Basin Harbour in Response to
Infragravity and Edge Waves,”
Prog. Oceanogr., Vol. 77, p. 367-375.
 12. Maa, J.P. Y., Tsai, C.H., Juang, W.J.,
and Tseng H.M. (2010) “A prelim
inary study on Typhoon Tim induced
resonance at Hualien Harbor,
Taiwan,” *Ocean Dynamics*,
Vol.61(4), pp.411-423.
 13. Oltman-Shey, J. and Guza, R. T.:
(1987) “Infragravity edge wave
observations on two California
beaches,” *J. Phys. Oceanogr.* Vol.
17(5), pp. 644 – 663.
 14. Rabinovich, A. B. (1997) “Spectral
analysis of tsunami waves: Separation
of source and topography effects,” *J.
Geophys. Res.*, vol. 102(C6), pp.
12,663 – 12,676.

港 灣 報 導 徵 稿 簡 訊

- 1.本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。
- 2.投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。
- 3.來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：
 - (1)以紙本或是數位方式出版。
 - (2)進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。
 - (3)再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
 - (4)為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。
- 4.作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
- 5.稿件每篇以八頁（含圖）（4000~5000 字）以內為原則，稿酬從優；請附磁片或 E-mail，並請加註身分證字號及戶籍地址（含鄰、里）。
- 6.本刊每年刊行 3 期，分別於 2 月、6 月、10 月出版。如蒙惠稿請於每期出版前 30 日寄交本刊。
- 7.聯絡電話：(04)2658-7139 馬維倫
傳真電話：(04)2656-4415
E-mail：**elisa@mail.ihmt.gov.tw**
- 8.歡迎賜稿，來稿請寄：
43542 臺中市梧棲區中橫十路 2 號
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣報導編輯委員會」 收